

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



T E S I S

**Detoxificación de efluentes cianuradas para cumplir la categoría III de
acuerdo al estándar de calidad ambiental (ECA) en una planta ADR,
Ancash 2023**

Para optar el título profesional de:
Ingeniero Metalurgista

Autores:

Bach. Ednilson Fray CRISTOBAL VILLENA

Bach. Ghandy Jhandery DIAZ QUINCHO

Asesor:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA

Cerro de Pasco – Perú - 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



T E S I S

**Detoxificación de efluentes cianuradas para cumplir la categoría III de
acuerdo al estándar de calidad ambiental (ECA) en una planta ADR,
Ancash 2023**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Edgar Yoni AIRE MENDOZA

PRESIDENTE

Mg. Osmer Ignacio BLANCO CAMPOS

MIEMBRO

Mg. Uldarico USURIAGA LOPEZ

MIEMBRO



Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Facultad de Ingeniería

Unidad de Investigación

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 332-2025-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

Detoxificación de efluentes cianuradas para cumplir la categoría III de acuerdo al estándar de calidad ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.

Apellidos y nombres de los tesistas

Bach. Ednilson Fray CRISTOBAL VILLENA

Bach. Ghandy Jhandery DIAZ QUINCHO

Apellidos y nombres del Asesor:

Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Metalúrgica

Índice de Similitud

10 %

APROBADO

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 9 de octubre del 2025



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DANIEL
ALCIDES
CARRIÓN
[AVANZADA]

Firmado digitalmente por PALOMINO
ISIDRO Ruben Edgar FAU
20154005046 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 09.10.2025 12:17:46 -05:00

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a Dios, por ser la fuerza, protector y guía; en cada paso de mi camino académico.

A mis padres (Zenon Cirilo CRISTOBAL ROMAN y Teofila VILLENA GABRIEL) por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; donde todos los logros se los debo a ustedes donde incluye esta tesis, a mis hermanos y familiares por su apoyo emocional dando el aliento a seguir adelante y seguir superándome cada día más.

EDNILSON CRISTOBAL

Este trabajo es dedicado a Dios, por darme salud, para seguir adelante día a día y así poder alcanzar mis objetivos; a mis padres:

- DIAZ ROMERO, Cicilio Bernardo
- QUINCHO PUENTE, Edith Selene

Quienes fueron mi pilar inquebrantable de mi vida, cuyo amor y sacrificio ha sido la luz que ha guiado cada paso de mi etapa universitaria.

GHANDY DIAZ

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por bendecirnos y guiarnos a lo largo de nuestras vidas, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultades y debilidades.

De igual modo agradecemos a nuestro honorable asesor de tesis, el Dr. Eduardo Jesús Mayorca Baldoceda, por su invaluable orientación, paciencia y sabiduría, que fueron fundamentales en la realización de este trabajo. Su guía experta y apoyo constante han sido la base en nuestra formación académica, así como para la realización de esta tesis.

RESUMEN

Los procesamientos de minerales auríferos por cianuración en tanques generan soluciones cianuradas, los cuales deben ser tratadas, debido al impacto negativo que ocasionan al medio ambiente y salud humana. Para esta investigación, se tomó muestras in situ por personal de planta de Las Lomas y recibidas por el laboratorio metalúrgico.

Durante el estudio para el tratamiento détox se desarrollaron pruebas metalúrgicas de diseño experimental, orientadas a lograr un efluente final que cumplan con los estándares de calidad (ECA) del DS-004-2017-MINAM. El compósito de la solución barren, usado en las pruebas metalúrgicas, presentaron concentraciones iniciales de CN_{total} 198.33 ppm.

La adición del reactivo oxidante con ratio H_2O_2/CN_{wad} : 7, en flujos fraccionados (Détox 1: ratio 4 y Détox 2: ratio 3), pH solución: 10.2 - 10.6 y 60 minutos de agitación, permite lograr remociones metálicas globales de 99.2% de CN_{total} .

Los parámetros metalúrgicos para lograr los valores de la solución final detoxificada fueron: 393 ppm $CuSO_4 \cdot H_2O$ (100 ppm Cu^{+2}) con un tiempo contacto de 5 minutos, Détox 1: ratio 4 (720 ppm H_2O_2) con un tiempo de contacto: 30 minutos, Détox 2: ratio 3 (540 ppm H_2O_2) con un tiempo de contacto de 30 minutos, 350 ppm de $Fe_2(SO_4)_3$, a un tiempo de contacto de 30 minutos, 50 ppm de NaSH a un tiempo de contacto de 30 minutos y 1 - 2 ppm de floculante MT-6506.

Los resultados del diseño experimental usado para la evaluación de las variables ratios de H_2O_2 : 6 - 9 y tiempos de contacto 60 y 90 minutos, indican que el tiempo apropiado de agitación en Détox es 60 minutos y la aplicación de un ratio de H_2O_2 igual a 7.

Palabras clave: Detoxificación, ppm, porcentaje de remoción, cianuro total, estándares de calidad (ECA), ICP.

ABSTRACT

The processing of gold minerals by cyanidation in tanks generates cyanide solutions, which must be treated, due to the negative impact they cause on the environment and human health. For this investigation, samples were taken on site by Las Lomas plant personnel and received by the metallurgical laboratory.

During the study for the detox treatment, metallurgical tests of experimental design were developed, aimed at achieving a final effluent that meets the quality standards (ECA) of DS-004-2017-MINAM. The composite of the barren solution, used in the metallurgical tests, presented initial concentrations of CN_{total} 198.33 ppm.

The addition of the oxidizing reagent with H_2O_2/CN_{wad} ratio: 7, in fractional flows (Detox 1: ratio 4 and Detox 2: ratio 3), solution pH: 10.2 - 10.6 and 60 minutes of stirring, allows achieving global metal removals of 99.2% by CN_{total} .

The metallurgical parameters to achieve the values of the final detoxified solution were: 393 ppm $CuSO_4 \cdot H_2O$ (100 ppm Cu^{+2}) with a contact time of 5 minutes, Detox 1: ratio 4 (720 ppm H_2O_2) with a contact time: 30 minutes, Detox 2: ratio 3 (540 ppm H_2O_2) with a contact time of 30 minutes, 350 ppm of $Fe_2(SO_4)_3$, at a contact time of 30 minutes, 50 ppm of NaSH at a contact time of 30 minutes and 1 - 2 ppm of MT-6506 flocculant.

The results of the experimental design used for the evaluation of the variable H_2O_2 ratios: 6 - 9 and contact times 60 and 90 minutes, indicate that the appropriate agitation time in Detox is 60 minutes and the application of a H_2O_2 ratio equal to 7.

Keywords: Detoxification, ppm, removal percentage, total cyanide, quality standards (ECA), ICP.

INTRODUCCIÓN

El proceso de cianuración implica la disolución del oro metálico en una solución diluida de cianuro de potasio o sodio. Para recuperar el oro disuelto, se emplean métodos como el proceso Merrill Crowe, que utiliza polvo de zinc para la precipitación del oro, o el proceso de absorción con carbón activado, conocidos por su alta eficiencia en la recuperación del metal precioso.

En el proceso de cianuración para la obtención del oro, es crucial tener en cuenta que el cianuro forma complejos con metales como mercurio, zinc, hierro, plomo y arsénico, lo que contribuye al consumo de cianuro en la extracción de oro. Esto resulta en la generación de soluciones cianuradas, que representan un riesgo potencial para la salud y el medio ambiente, subrayando la necesidad de su tratamiento adecuado.

Con el objetivo de abordar esta problemática, se llevaron a cabo pruebas en el laboratorio de la planta Las Lomas para detoxificar una solución cianurada proveniente de la Poza de efluentes PE-01. Estas pruebas proporcionarán información valiosa para el tratamiento de soluciones cianuradas, con la evaluación de resultados basada en un diseño experimental bifactorial que considera el ratio H_2O_2/CN_{wad} y el tiempo de contacto como variables clave.

Una vez optimizadas estas variables, se procederá a realizar la oxidación del cianuro utilizando peróxido de hidrógeno y sulfato de cobre como catalizador. Además, se llevará a cabo la precipitación de metales mediante la dosificación de sulfato férrico y sulfhidrato de sodio, con el objetivo de generar un efluente que cumpla con los límites máximos permisibles de constituyentes tóxicos, garantizando así un tratamiento efectivo y seguro de las soluciones cianuradas.

El principal objetivo del presente estudio es detoxificar los efluentes cianurados de la planta de Adsorción, Desorción y Recuperación (ADR), para cumplir con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA), esto permitirá mejorar la calidad del medio ambiente en la zona de

estudio en lo referente al agua, aire, suelo y la salud humana. Además, tiene justificación en beneficio del personal de la empresa que trabajará en mejores condiciones de vida, permitiendo a la empresa trabajar, cumpliendo las normas de límites máximo permisible en la descarga de sus efluentes y evitar sanciones por daño ambiental y riesgo a la salud humana, flora y fauna de la cuenca hidrográfica de la zona.

La empresa obtendrá oro más limpio y buenos precios en el mercado internacional, permitiendo a la empresa obtener utilidades significativas, esto implica mejorar la calidad de vida de todo el personal que laboran en la misma.

El presente trabajo contiene Cap. I (Problemas de la Investigación), Cap. II (Marco Teórico), Cap. III (Metodología y Técnicas de Investigación) y Cap. IV (Resultados y Discusión); incluyendo además conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexo.

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	2
1.2.1.	Delimitación teórica	2
1.2.2.	Delimitación temporal.....	2
1.2.3.	Delimitación espacial	2
1.3.	Formulación del problema	2
1.3.1.	Problema general.....	2
1.3.2.	Problemas específicos	3
1.4.	Formulación de objetivos.....	3
1.4.1.	Objetivo general	3
1.4.2.	Objetivos específicos.....	3

1.5.	Justificación de la investigación	4
1.5.1.	Justificación teórica.....	4
1.6.	Limitaciones de la investigación.....	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio.....	5
2.2.	Bases teóricas – científicas	7
2.2.1.	Química básica del cianuro	7
2.2.2.	Tipos de cianuro	7
2.2.3.	Diferencia entre cianuro libre y cianuro total.....	8
2.2.4.	Toxicidad del cianuro.....	9
2.2.5.	Tecnologías en la degradación del cianuro	10
2.2.6.	Proceso INCO	12
2.2.7.	Tratamiento con ácido caro	13
2.2.8.	Tratamiento con O ₃	13
2.2.9.	Proceso de degradación por cloración alcalina	14
2.2.10.	Mecanismo de oxidación con peróxido de hidrogeno.....	15
2.2.11.	Reacciones químicas involucradas en el proceso de detoxificación de cianuro con peróxido de hidrogeno.....	16
2.2.12.	Ventajas de utilización de peróxido de hidrogeno en el proceso de detoxificación de cianuro	17
2.2.13.	Termodinámica el sistema H ₂ O – CN a condiciones normales	18
2.2.14.	Estándares de calidad ambiental (ECA).....	18
2.3.	Definición de términos básicos.....	20
2.4.	Formulación de hipótesis	21

2.4.1. Hipótesis general	21
2.4.2. Hipótesis específicas	22
2.5. Identificación de variables	22
2.6. Definición operacional de variables e indicadores	23

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.....	24
3.2. Nivel de investigación.....	24
3.3. Métodos de investigación	25
3.4. Diseño de investigación	26
3.4.1. Diseño experimental.....	26
3.4.2. Diseño experimental - nivel laboratorio	28
3.5. Población y muestra	28
3.5.1. Población.....	28
3.5.2. Muestra	28
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	29
3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	30
3.7.1. Selección de los instrumentos de investigación	30
3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.	31
3.8.1. Técnicas de procesamiento de datos	31
3.8.2. Técnicas de análisis de datos.....	31
3.9. Tratamiento estadístico	32
3.10. Orientación ética filosófica y epistémica.....	33

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Descripción del trabajo de campo.....	34
4.1.1.	Recepción de muestra.....	34
4.1.2.	Parámetros de elementos de los efluentes cianurados.....	34
4.1.3.	Diseño de plan de pruebas.....	35
4.1.4.	Caracterización del efluente cianurados.....	37
4.1.5.	Pretratamiento de la solución barren.....	39
4.1.6.	Pruebas détox con diferentes ratios de H_2O_2 / CN_{WAD} y pH de solución barren	40
4.1.7.	Tiempo de cambio de coloración en detoxificación a pH: 10.6.....	44
4.1.8.	Pruebas de detoxificación con pH: 11.5.....	45
4.1.9.	Pruebas de detoxificación con pH: 9.5.....	49
4.1.10.	Pruebas de detoxificación con pH: 10.6 y ratios H_2O_2/CN_{Wad} : 5-8.....	51
4.1.11.	Pruebas de detoxificación con pH: 10.6, ratios H_2O_2/CN_{Wad} : 6-7, tiempo Detox: 45 min	54
4.1.12.	Pruebas de detoxificación con pH: 10.6, ratios H_2O_2/CN_{Wad} : 6-9, tiempo Détox: 90 min	57
4.1.13.	Pruebas de acidificación de solución detoxificada	58
4.1.14.	Selección y evaluación de floculantes	61
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados	63
4.2.1.	Presentación de resultados	63
4.2.2.	Análisis e interpretación de resultados.....	66
4.2.3.	Concentración de cobalto en la solución barren.....	67
4.2.4.	Concentración de hierro en la solución barren	68

4.2.5. Concentración de tiocianato en la solución barren	69
4.3. Prueba de hipótesis	70
4.4. Discusión de resultados.....	71

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

	Página.
Tabla 1 Parámetros Físicos - Químicos ECA III	19
Tabla 2 Parámetros Inorgánicos - ECA III	19
Tabla 3 Variables e Indicadores.....	23
Tabla 4 Matriz de diseño experimental.....	27
Tabla 5 Variables y factores de estudio.	27
Tabla 6 Factores y niveles para el diseño experimental.	28
Tabla 7 Resultados del compósito de la solución cianurada.....	29
Tabla 8 Caracterización solución cianurada con los estándares de calidad.....	35
Tabla 9 Diagrama de flujo de pruebas de laboratorio.....	36
Tabla 10 Resultados de análisis fisicoquímicos solución barren.....	37
Tabla 11 Análisis de ICP en muestra compósito de solución barren.....	38
Tabla 12 Análisis de ICP en muestra de solución barren acidificada.....	40
Tabla 13 Dosificación de reactivos en las pruebas realizadas pH: 10.6	41
Tabla 14 Condiciones operativas en pruebas de detoxificación pH:10.6. 60 min.....	42
Tabla 15 Tiempos de cambio de coloración en pruebas detoxificación con pH 10.6.	45
Tabla 16 Dosificación de reactivos en las pruebas realizadas pH: 11.5	46
Tabla 17 Condiciones operativas en pruebas de detoxificación pH: 11.5.	47
Tabla 18 Condiciones operativas en pruebas de detoxificación pH: 9.5.	49
Tabla 19 Grado de detoxificación de CN libre en función de la variación de los ratios gr H ₂ O ₂ /CN wad: 5-8 y pH:10.6.	52
Tabla 20 Condiciones operativas en pruebas de detoxificación pH:10.6, 45 min.	54
Tabla 21 Condiciones operativas en pruebas de detoxificación pH:10.6, ratios H ₂ O ₂ /CN _{wad} : 6- 9 y 90 min tiempo agitación Détox.....	57

Tabla 22 Variación de pH en acidificación con agua potable.	58
Tabla 23 Consumo de ácido sulfúrico en acidificación con agua potable.	59
Tabla 24 Pruebas de acidificación con solución detoxificada	59
Tabla 25 Consumos de ácido sulfúrico para soluciones detoxificadas.....	60
Tabla 26 Consumo final de gas CO ₂ para soluciones detoxificadas.....	61
Tabla 27 Tipos de floculantes empleados en las pruebas.	61
Tabla 28 Resultados de las pruebas a nivel laboratorio.	63
Tabla 29 Diseño factorial.....	64
Tabla 30 Análisis de varianza	64
Tabla 31 Constantes de equilibrio químico en complejos cianurados	67
Tabla 32 Aporte de cianuro por efecto del cobalto.....	68
Tabla 33 Aporte de cianuro por efecto del hierro	69
Tabla 34 Aporte de cianuro por efecto del tiocianato.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página.
Figura 1 Diagrama Eh – Ph del sistema H_2O – CN a 25°C	18
Figura 2 Poza de efluente cianurado	28
Figura 3 Muestra de la solución cianurada	29
Figura 4 Grado de detoxificación de CN_{total} en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 2.0-4.5 y pH: 10.6.	42
Figura 5 Grado de detoxificación de CN_{libre} en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 2.0-4.5 y pH:10.6.	43
Figura 6 Grado de detoxificación de CN_{wad} en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 2.0-4.5 y pH:10.6.	44
Figura 7 Grado de detoxificación de CN_{total} en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH:11.5.....	47
Figura 8 Grado de detoxificación de CN_{libre} en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH:11.5.....	48
Figura 9 Grado de detoxificación de CN_{wad} en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH:11.5.....	48
Figura 10 Grado de detoxificación de CN_{total} en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH:9.5.	50
Figura 11 Grado de detoxificación de CN_{wad} en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH:9.5	50
Figura 12 Grado de detoxificación de CN libre en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH:9.5.....	51
Figura 13 Grado de detoxificación de CN_{total} en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} :	52

Figura 14 Grado de detoxificación de CN _{wad} en función de la variación de los ratios gr H ₂ O ₂ /CN _{wad} : 5-8 y pH:10.6.....	53
Figura 15 Grado de detoxificación de CN _{libre} en función de la variación de los ratios gr H ₂ O ₂ /CN _{wad} : 5-8 y pH:10.6.....	53
Figura 16 Grado de detoxificación de CN _{total} en función de la variación de los ratios gr H ₂ O ₂ /CN _{wad} : 6-7, pH:10.6 y 45 min agitación Détox.	55
Figura 17 Grado de detoxificación de CN _{wad} en función de la variación de los ratios gr H ₂ O ₂ /CN _{wad} : 6-7, pH:10.6 y 45 min agitación Détox.	55
Figura 18 Grado de detoxificación de CN _{libre} en función de la variación de los ratios gr H ₂ O ₂ /CN _{wad} : 6-7, pH:10.6 y 45 min agitación Détox.	56
Figura 19 Grado de detoxificación de CN _{total} en función de la variación de los ratios gr H ₂ O ₂ /CN _{wad} : 6-9, pH:10.6 y 90 min agitación Détox.	57
Figura 20 Acidificación de solución detoxificada con gas CO ₂	60
Figura 21 Resultados de las pruebas de sedimentación.....	62
Figura 22 Variación de la turbidez en las pruebas de sedimentación.	62
Figura 23 Diagrama de Pareto – Diseño experimental	65
Figura 24 Efectos principales – Diseño experimental.	65
Figura 25 Interacción tiempo de residencia Vs Ratio H ₂ O ₂ /CN _{wad}	66

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La generación de soluciones cianuradas en efluentes industriales, como en el proceso de lixiviación para la extracción de oro, plantea desafíos ambientales significativos. Un problema relacionado con esto podría ser el siguiente:

En una planta ADR, se generan efluentes cianurados como resultado del proceso de cianuración utilizado para la extracción de oro. Estos efluentes contienen concentraciones significativas de cianuro, un compuesto altamente tóxico para la vida acuática y, en última instancia, para los seres humanos.

Si estos efluentes no se tratan adecuadamente, podrían ser descargados directamente al medio ambiente, lo que podría tener consecuencias devastadoras. La liberación de soluciones cianuradas sin tratamiento podría contaminar cuerpos de agua cercana, causando daños irreparables a los ecosistemas acuáticos y representando un riesgo para la salud humana. Además, la presencia de cianuro en el medio ambiente puede tener efectos a largo plazo en la calidad del agua y la biodiversidad, lo que podría

resultar en sanciones regulatorias, daños a la reputación de la empresa y costos significativos asociados con la remediación ambiental.

Por ese motivo se plantea el tratamiento adecuado de las soluciones cianuradas para evitar estas consecuencias negativas, entonces planteamos la detoxificación con peróxido de hidrógeno más un catalizador que vendría a ser el sulfato de cobre pentahidratado, para precipitar los metales en suspensión se usa sulfhidrato sódico más cloruro férrico y finalmente para clarificar se usa floculante aniónico. Para reducir o eliminar la concentración de cianuro en los efluentes industriales, evaluaremos el efecto del tiempo de residencia y la ratio de consumo en la remoción del cianuro presente para el cumplimiento de la categoría III del Estándar de Calidad Ambiental (ECA).

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación teórica

La delimitación teórica está dada por las variables de estudio los cuales viene a ser la dosificación de reactivos y el tiempo de detoxificación de efluentes cianuradas.

1.2.2. Delimitación temporal

El proyecto de investigación se realizó en un periodo de tiempo de 7 meses, que se inició el 5 de junio del 2023 hasta el 20 de diciembre del 2023.

1.2.3. Delimitación espacial

La delimitación geográfica establece el lugar específico donde se llevó a cabo la investigación. En este caso, la investigación se realizó en los laboratorios de la planta de Las Lomas de Casma, ubicada en el distrito y provincia Casma departamento de Ancash.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Se podrá realizar la detoxificación de efluentes cianuradas para cumplir la categoría III de acuerdo con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023?

1.3.2. Problemas específicos

1. ¿Cuál es el efecto de la dosificación de los reactivos del proceso de detoxificación de efluentes cianuradas para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023?
2. ¿Cuál es el efecto del tiempo de residencia del proceso de detoxificación de efluentes cianuradas para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023?

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Realizar el proceso de detoxificación de efluentes cianuradas para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Determinar el efecto de la dosificación de los reactivos del proceso de detoxificación de efluentes cianuradas para cumplir la categoría III de acuerdo con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.
2. Determinar el efecto del tiempo de residencia del proceso de detoxificación de efluentes cianuradas para cumplir la categoría III de acuerdo con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación teórica

El peróxido de hidrógeno y la soda cáustica se utilizan en combinación para la eliminación de cianuro, debido a que forman un oxidante fuerte que es efectivo en la detoxificación del cianuro total mediante la precipitación de complejos cianurados encontradas en las soluciones. Este método es más rápido que otros oxidantes convencionales como la cloración alcalina y el peróxido de hidrógeno solo. Además, la combinación de peróxido de hidrógeno y soda cáustica permite obtener lodos económicamente aprovechables.

Por lo tanto, determinar factores como la dosificación de reactivos y el tiempo de residencia es crucial para la remoción de cianuro y cumplir con la normativa del ECA 2017 de la categoría III.

1.6. Limitaciones de la investigación

Poca disponibilidad de tiempo para el desarrollo de trabajo de investigación, ya que la muestra no puede ser almacenado mucho tiempo, porque para tratar soluciones detoxificadas la muestra debe preservar la característica inicial del punto de origen.

El manejo del recurso de laboratorio debido al trabajo extra que origina el tratar estas soluciones, el laboratorio presenta lotes de minerales y soluciones a analizar, la accesibilidad a los equipos como el peachímetro y potenciómetro entre otros equipos a utilizar.

En este sentido, se hizo necesario establecer prioridades en las pruebas a llevar a cabo y replicas, con el objetivo de evitar cualquier sesgo en los análisis y pruebas ejecutadas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

(AroniI Lozada & Morales Roca, 2023) en su tesis “Condiciones óptimas para la detoxificación de efluentes” tuvo como objetivo de estudio en determinar las condiciones óptimas para la detoxificación de efluentes mineros cianurados, provenientes del proceso de lixiviación de oro, con el fin de evitar daños a la salud y el ambiente. Se utilizaron el proceso INCO (metabisulfito de sodio) y los métodos de oxidación química con peróxido de hidrógeno para la detoxificación de los efluentes mineros cianurados, determinando el efecto de remoción de cianuro libre. Se realizaron pruebas a diferentes dosificaciones y tiempos de reacción, y se encontró que las condiciones óptimas fueron de 150 ppm de peróxido de hidrógeno y 150 ppm de metabisulfito de sodio, obteniendo un porcentaje de reducción de cianuro libre de 99.84% y valor final de cianuro libre de 0.020 ppm, cumpliendo los estándares de la normativa del ECA 4 del DS 002-2008 MINAM.

(Gutierrez Pascual, 2021) en su tesis “Implementación del método de destrucción de cianuro con oxidación avanzada en el tratamiento de efluentes de la

planta minera IRL S.A. - Unidad Corihuarmi” tuvo como objetivo calcular la degradación de cianuro de la solución barren de la planta de detoxificación de la minera IRL S.A. – Unidad Corihuarmi Junín – Lima utilizando el método de destrucción de cianuro con oxidación avanzada. Se tomaron muestras de solución barren que viene de la planta de procesos el mes de enero de 2017 hasta febrero de 2017, fueron sometidos a 3 tratamientos variando la cantidad añadida de “peróxido de hidrógeno y manteniendo la dosificación de sulfato de cobre pentahidratado y también el pH, obteniendo una máxima remoción de 92% a un pH 11.6, 10 ml de peróxido de hidrógeno y 4 ml sulfato de cobre pentahidratado. Como resultado se observó una disminución de la concentración de cianuro libre y cianuro wad de 56 ppm CN- a 1 ppm CN- cumpliendo los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero – Metalúrgicas. La implementación del método de destrucción de cianuro con oxidación avanzada ofrece propiedades que permiten eliminar compuestos de cianuro disueltos en agua, lo que resulta en una solución barren que cumple con los estándares ambientales.

(Ibarra Condori, 2021) , en su tesis “Evaluación cinética de los reactivos en el tratamiento de los efluentes de cianuración” realizó pruebas en el laboratorio Metalúrgico de Apumayo S.A.C., para evaluar y obtener los parámetros de operación y dosificación de los reactivos H_2O_2 , NaOH, Ca, $CuSO_4$, NaSH, el coagulante CT – 3160 y floculante CT – 3561, para la operación de la planta DX, de tal manera generar un efluente que tenga los constituyentes tóxicos por debajo de los límites máximos permisibles.

De acuerdo a los resultados de las pruebas realizadas, la dosificación de peróxido de hidrógeno con sulfato de cobre de 2.25 Kg H_2O_2/m^3 y 0.019 Kg $CuSO_4/m^3$, para cumplir la normativa vigente de LMP de 1 mg/L de contenido de

NaCN. Los nuevos ratios utilizados en la dosificación de reactivos de peróxido de hidrógeno son de 5.11 Kg H₂O₂/Kg NaCN y de sulfato de cobre 0.043 Kg CuSO₄/Kg NaCN, siendo el ratio de peróxido el factor dominante para obtener valores mínimos de cianuro.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Química básica del cianuro

El cianuro es un grupo químico compuesto por un átomo de carbono conectado a un átomo de nitrógeno por tres enlaces (C≡N) y se encuentra en forma líquida, gaseosa o cristalina. Los cianuros son compuestos que contienen el grupo cianuro (:C≡N:), típicamente expresado como CN, y pueden ocurrir de forma natural o ser manufacturados. La mayoría de los compuestos de cianuro son venenos potentes y de acción rápida, y se utilizan en la industria de la galvanoplastia, metalurgia, producción de compuestos orgánicos, revelado fotográfico, manufactura de plásticos, fumigación de barcos y algunos procesos de minería.

El cianuro de hidrógeno es un gas incoloro a azul claro con un ligero olor amargo a almendra, mientras que el cianuro de sodio y el cianuro de potasio son sólidos blancos. El cianuro se transforma en múltiples sustancias químicas menos tóxicas mediante procesos físicos, químicos y biológicos naturales, dado que el cianuro se oxida cuando es expuesto al aire o a otros oxidantes, se descompone y no se mantiene.

2.2.2. Tipos de cianuro

Existen varios tipos de cianuro, que pueden ser clasificados en función de su composición y aplicación. Algunos de los tipos de cianuro más comunes incluyen:

- **Cianuro de hidrógeno (HCN):** Es un gas incoloro con un olor ligero a almendras. Se utiliza en la industria de la galvanoplastia, la producción de plásticos, la fumigación de barcos y algunos procesos de minería.

- **Cianuro de sodio (NaCN):** Es un sólido blanco. Se utiliza en la producción de papel, textiles, plásticos y pesticidas.
- **Cianuro de potasio (KCN):** Es otro sólido blanco utilizado en la producción de pesticidas y plásticos.
- **Cianuros solubles:** Incluyen compuestos como cianuro de sodio (NaCN), cianuro de potasio (KCN) y cianuro de calcio ($\text{Ca}(\text{CN})_2$). Estos compuestos son solubles en agua y se utilizan en diversas aplicaciones industriales y farmacéuticas.
- **Cianuros eléctricamente neutros relativamente insolubles:** Son compuestos como el cianuro de zinc o ($\text{Zn}(\text{CN})_2$), cianuro de cadmio ($\text{Cd}(\text{CN})_2$) y cianuro de cobre ($\text{Cu}(\text{CN})_2$). Estos cianuros no se mezclan con el agua y tienen aplicaciones en la industria farmacéutica y de la galvanización.
- **Cianuro Disociable con Ácido Débil (Wad CN):** Son cianuros que son fácilmente disociables a un pH neutro o inferior, que integran aniones de cianuro libre, cianuro de hidrógeno y otras especies donde el grupo Ciano comparte enlaces débiles con metales como el cobre, el níquel, el zinc y el hierro.
- **Cianuro Disociable en Ácido Fuerte o cianuro SAD:** Son compuestos de cianuro en los que el grupo Ciano comparte un enlace fuerte con un metal como el oro, el hierro, la plata o el cobalto. Los cianuros SAD normalmente no pueden ser oxidados o descompuestos, y deben ser eliminados por medios de separación física, como la precipitación o la filtración por membrana.

2.2.3. Diferencia entre cianuro libre y cianuro total

La diferencia entre el cianuro libre y el cianuro total radica en la forma en que se encuentran los iones de cianuro en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.

- **Cianuro libre (CN⁻):** Es la forma más tóxica del cianuro y se refiere al ion cianuro y al cianuro de hidrógeno. Incluye el cianuro de hidrógeno (HCN) y el ion cianuro (CN⁻).
- **Cianuro total:** Es la suma de los cianuros orgánicos, iones de cianuro libre, complejos cianurados y cianuro ligado a metales simples (excepto el cianuro en complejos de cobalto), pero no incluye a los tiocianatos (SCN⁻).

La determinación de cianuro total se realiza aspirando un volumen reducido de la muestra y sometiénola a una digestión automática en medio ácido asistida por una luz UV-B, lo que evita la conversión del tiocianato en cianuro, pero asegurando que el cianuro total esté como cianuro de hidrógeno (HCN).

Es importante evaluar la presencia de todos los compuestos cianurados en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas, ya que el cianuro es una sustancia fuertemente tóxica que puede causar daños graves a la salud y al medio ambiente.

2.2.4. Toxicidad del cianuro

La toxicidad del cianuro en los efluentes mineros es un problema significativo en la industria minera, especialmente en la lixiviación de oro, ya que el cianuro es una sustancia altamente tóxica que afecta directamente a los organismos que se desarrollan alrededor de la industria y al medio ambiente en general.

Algunos aspectos relevantes sobre la toxicidad del cianuro en los efluentes mineros incluyen:

Efectos en la vida: El cianuro es altamente tóxico y puede causar efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente, incluyendo la muerte por hipoxia, ya que el cianuro se liga a la hemoglobina presente en el organismo, lo que resulta en la incapacidad de utilizar el oxígeno.

La toxicidad del cianuro en los efluentes mineros es un problema significativo que afecta directamente a los organismos y el medio ambiente. Es necesario tomar medidas para reducir la exposición humana y ambiental a este compuesto químico altamente tóxico, incluyendo la biorremediación y el monitoreo de las normativas y regulaciones aplicables.

2.2.5. Tecnologías en la degradación del cianuro

Degradación natural del cianuro

La degradación natural del cianuro en efluentes mineros es un proceso que se basa en la exposición de los residuos mineros a los elementos climáticos. Este método aprovecha la volatilización del ácido cianhídrico, el cual se produce al exponer el material que contiene cianuro en solución alcalina al aire. La volatilización del cianuro puede ser promovida por factores como el calor, la aireación, la foto descomposición y la biodegradación. Sin embargo, la degradación de los complejos metálicos cianurados puede llevar meses, ya que el éxito de este tratamiento depende de la disociación de estos complejos. La exposición del material a condiciones naturales, como la absorción de anhídrido carbónico atmosférico, puede contribuir a la degradación del cianuro. Además, la incorporación de agua de pH neutro a los residuos en forma de spray puede ayudar en este proceso. La degradación natural del cianuro es un método que busca reducir la concentración de cianuro a niveles seguros para el medio ambiente y la salud humana.(Aguirre et al., s. f., p. 3)

Degradación Biológica

La degradación biológica del cianuro es un proceso que aprovecha la capacidad de ciertos microorganismos, principalmente bacterias, para utilizar compuestos de cianuro como fuente de carbono y nitrógeno. Algunos estudios han demostrado que ciertas bacterias, como *Pseudomonas fluorescens*, tienen la capacidad de degradar el

cianuro presente en efluentes de plantas de lixiviación de minerales para la recuperación del oro. Estos microorganismos han mostrado un alto potencial para degradar el cianuro presente en lixiviados, lo que sugiere que podrían ser utilizados en la biorremediación de ecosistemas contaminados con lixiviados cianurados o en el tratamiento de desechos de cianuro.

Además, se han desarrollado consorcios autóctonos de microorganismos degradadores del cianuro para su aplicación en el tratamiento biológico de desechos peligrosos de cianuro. Estos microorganismos autóctonos se han liofilizado en diferentes medios protectores y a diferentes temperaturas, lo que ha permitido su utilización en el tratamiento biológico de desechos de cianuro.

En resumen, la degradación biológica del cianuro es un proceso que se basa en la capacidad de ciertos microorganismos para utilizar compuestos de cianuro como fuente de carbono y nitrógeno. Estos microorganismos han mostrado un alto potencial para degradar el cianuro presente en efluentes de plantas de lixiviación de minerales, lo que sugiere que podrían ser utilizados en la biorremediación de ecosistemas contaminados con lixiviados cianurados o en el tratamiento de desechos de cianuro.(Aguirre et al., s. f., p. 5)

Degradación Solar

La degradación del cianuro mediante la exposición a la luz solar ha sido objeto de investigación. Algunos estudios han demostrado que la fotólisis del cianuro con colectores solares no mostró una degradación significativa, resultando fotoestable a la irradiación solar. Sin embargo, se han investigado métodos de degradación fotocatalítica del cianuro en medio acuoso bajo radiación solar simulada utilizando óxido de zinc dopado con boro.

Estos experimentos han mostrado resultados prometedores en la degradación del cianuro bajo radiación solar simulada, lo que sugiere que la fotocátalisis podría ser una alternativa para la degradación del cianuro en aguas residuales. Además, se ha estudiado la oxidación de cianuro en aguas residuales mediante el proceso UV/H₂O₂, el cual puede ser efectivo para reducir la cantidad de cianuros fácilmente dissociables a niveles seguros. Estos estudios demuestran que la degradación del cianuro, especialmente en aguas residuales, es un área de investigación activa con el objetivo de encontrar métodos efectivos y seguros para reducir la presencia de cianuro en el medio ambiente.

Degradación de cianuro por oxidación química

La degradación de cianuro por oxidación química es un proceso que utiliza reactivos químicos para transformar el cianuro en formas menos tóxicas. Algunos de los reactivos utilizados son el peróxido de hidrógeno, el hipoclorito de sodio y el sulfato de cobre pentahidratado.

La oxidación química puede ser efectiva para reducir la concentración de cianuro en los efluentes mineros, pero también puede generar subproductos tóxicos. Por lo tanto, es importante evaluar cuidadosamente los reactivos y las condiciones de operación para minimizar los impactos negativos en la salud y el medio ambiente.

2.2.6. Proceso INCO

El proceso INCO es un método de degradación de cianuro que utiliza metabisulfito de sodio como agente reductor para convertir el cianuro libre en cianuro dissociable con ácido débil (CNWAD). El proceso INCO se utiliza comúnmente en la industria minera para tratar los efluentes que contienen cianuro.

El proceso consiste en agregar metabisulfito de sodio a la solución de cianuro, lo que reduce el pH y convierte el cianuro libre en CNWAD. El CNWAD es menos

tóxico que el cianuro libre y puede ser tratado más fácilmente mediante procesos de oxidación química o biológica. El proceso INCO es una alternativa efectiva y económica para la degradación de cianuro en efluentes mineros.

2.2.7. Tratamiento con ácido caro

El tratamiento con ácido caro es un método de oxidación química utilizado para la detoxificación de efluentes mineros cianurados. Este método consiste en la oxidación del cianuro libre y cianuro WAD utilizando ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno como catalizador. El ácido caro es una solución de ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno que se utiliza como oxidante fuerte. El método de ácido caro ha sido comparado con otros métodos de tratamiento, como el peróxido de hidrógeno, y se ha demostrado que es efectivo para reducir la concentración de cianuro en los efluentes mineros.

Además, se ha demostrado que el ácido caro es más efectivo que el peróxido de hidrógeno en la eliminación de cianuro libre y cianuro WAD. El ácido caro es un método más costoso que otros métodos de tratamiento, pero es efectivo para reducir la concentración de cianuro en los efluentes mineros a niveles aceptables.

2.2.8. Tratamiento con O₃

La oxidación química del cianuro con ozono es un proceso que implica el uso de ozono como agente oxidante para convertir el cianuro en formas menos tóxicas. El ozono es un oxidante fuerte que puede reaccionar con el cianuro libre y cianuro WAD para convertirlos en compuestos menos tóxicos.

Este proceso de oxidación química es efectivo para reducir la concentración de cianuro en los efluentes mineros, lo que contribuye a minimizar los impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente. La oxidación del cianuro con ozono es rápida y puede ser una alternativa relevante para la degradación de cianuro en aguas residuales.

Este método ha sido objeto de numerosos estudios y se ha demostrado que es eficaz para la eliminación de cianuro en diferentes contextos industriales.

2.2.9. Proceso de degradación por cloración alcalina

La cloración alcalina es un proceso químico de oxidación y destrucción de cianuro libre y complejos de cianuro débiles bajo condiciones alcalinas. Este proceso utiliza cloro y un agente alcalino para oxidar el cianuro y convertirlo en formas menos tóxicas.

La cloración alcalina es un método efectivo para la detoxificación de cianuro en efluentes mineros, pero también puede generar subproductos tóxicos, como el tiocianato. Por lo tanto, es importante evaluar cuidadosamente los riesgos y beneficios de este método antes de su implementación. La cloración alcalina es una técnica que se ha utilizado en la industria minera durante muchos años y ha demostrado ser efectiva para reducir la concentración de cianuro en los efluentes mineros

La cloración alcalina aporta una serie de ventajas importantes:

- Incluye un poderoso oxidante.
- Puede oxidar el tiocianato (reacción 3).
- Puede oxidar el cianato a N_2 y CO_2 (reacción 4 en una segunda etapa), evitando la hidrólisis del cianato en el amoníaco no deseado.
- No requiere catalizador de cobre.
- Ofrece cinética rápida.

Puede oxidar eficazmente el cianuro [CN] disociable en ácido débil [DAD] (por ello el cianuro DAD se conoce también como "CN apropiado para la cloración") dejando en solución cianuro de hierro de baja toxicidad.

Las limitaciones para la cloración alcalina incluyen:

- El proceso no es selectivo y provoca un alto consumo de reactivos.

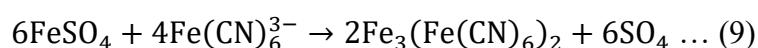
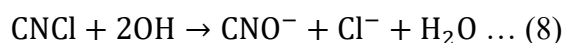
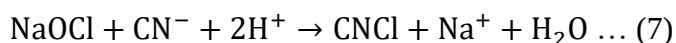
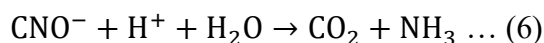
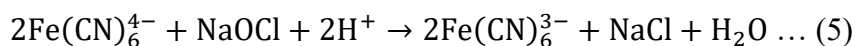
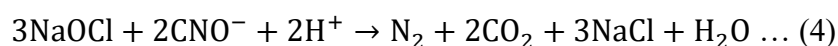
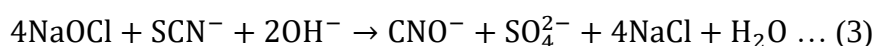
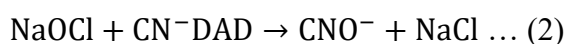
- Requiere un pH elevado (11) para asegurar una hidrólisis rápida y completa del cloruro gaseoso cianogénico, altamente tóxico (reacción 8).
- No se destruye el ferrocianuro, sino que se oxida sólo parcialmente a ferricianuro (reacción 5).
- Requiere una etapa y un reactivo adicionales para eliminar cianuro de hierro (si se requiere) como un precipitado de cianuro de hierro de metal básico (como en la reacción 9).
- Puede dejar cloruro residual en la solución (lo que requiere un estanque de pulido o una etapa de aireación).

La cloración alcalina es un proceso relativamente sencillo, en el cual el lixiviado de cianuro se trata en un procedimiento de nueve etapas. Durante la cloración alcalina se forma cianógeno (CNCl) y se hidroliza a cianuro (CNO) en un pH alcalino:

Reactivos



Reacciones



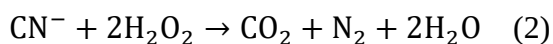
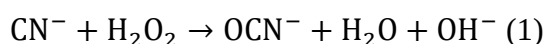
2.2.10. Mecanismo de oxidación con peróxido de hidrogeno.

La oxidación química de cianuro con peróxido de hidrógeno es un proceso que utiliza peróxido de hidrógeno como agente oxidante para convertir el cianuro en formas menos tóxicas. El peróxido de hidrógeno es un oxidante suave que puede reaccionar con el cianuro libre y cianuro WAD para convertirlos en compuestos menos tóxicos, como cianato. Este proceso de oxidación química es efectivo para reducir la concentración de cianuro en los efluentes mineros, lo que contribuye a minimizar los impactos negativos en la salud humana y el medio ambiente.

El proceso de oxidación química con peróxido de hidrógeno es relativamente simple y económico, y no genera subproductos tóxicos. Sin embargo, el proceso puede requerir un tiempo de reacción prolongado y una alta concentración de peróxido de hidrógeno para lograr una oxidación completa del cianuro. Además, el proceso puede ser menos efectivo para la eliminación de complejos de cianuro fuertes, como el cianuro de hierro.

2.2.11. Reacciones químicas involucradas en el proceso de detoxificación de cianuro con peróxido de hidrogeno

Las reacciones químicas que se producen en la oxidación de cianuro con peróxido de hidrógeno dependen de las condiciones específicas del proceso, como la concentración de cianuro, la relación molar de cianuro y peróxido de hidrógeno, y el pH. En general, el peróxido de hidrógeno reacciona con el cianuro libre y cianuro WAD para convertirlos en compuestos menos tóxicos, como cianato. La reacción de oxidación del cianuro con peróxido de hidrógeno en ausencia de catalizador está representada por las ecuaciones 1 y 2:



En presencia de un catalizador, como sulfato de cobre, la reacción de oxidación del cianuro con peróxido de hidrógeno se acelera y se produce una mayor conversión de cianuro a cianato. La oxidación del cianuro libre en soluciones acuosas sintéticas puede ser cercana al 100% en un tiempo de 90 minutos con una relación molar de $\text{CN}^-/\text{H}_2\text{O}_2$ de 1:2.

2.2.12. Ventajas de utilización de peróxido de hidrogeno en el proceso de detoxificación de cianuro

El uso de peróxido de hidrógeno en la oxidación de cianuro presenta varias ventajas, como se detallan en los siguientes estudios:

Eficiencia en la oxidación del cianuro: El peróxido de hidrógeno ha demostrado ser una buena opción para la oxidación del cianuro libre en soluciones acuosas, permitiendo una oxidación cercana al 100% en un tiempo relativamente corto, lo que contribuye a la reducción efectiva de la concentración de cianuro en los efluentes mineros.

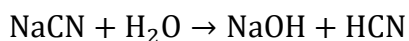
Seguridad y sostenibilidad: El peróxido de hidrógeno es una alternativa más segura y sostenible, ya que no genera productos secundarios dañinos para el medio ambiente. Además, su uso no conlleva riesgos significativos para la salud humana ni para el entorno.

Facilidad de aplicación: El peróxido de hidrógeno es relativamente simple de aplicar y no requiere equipos o procesos complejos, lo que lo convierte en una opción práctica para la detoxificación de cianuro en efluentes mineros.

Con lo exployado podemos afirmar que el peróxido de hidrógeno ofrece una eficiente y segura opción para la oxidación del cianuro en efluentes mineros, contribuyendo a la reducción de la concentración de cianuro de manera efectiva y sostenible.

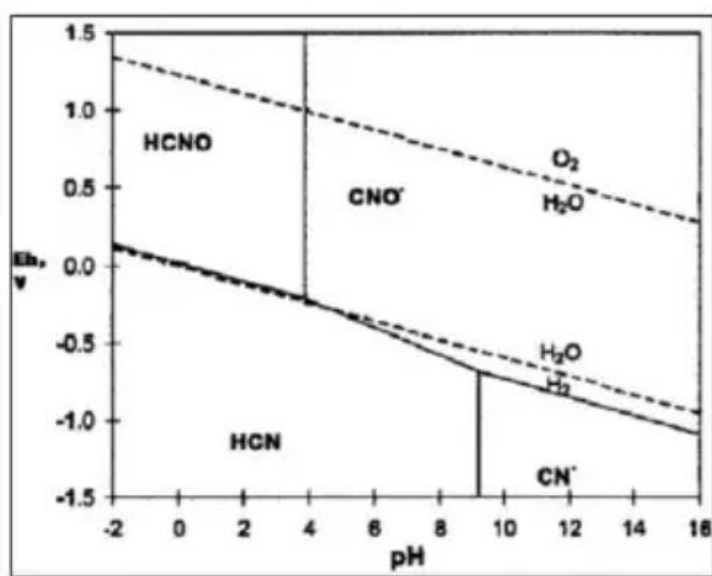
2.2.13. Termodinámica el sistema H₂O – CN a condiciones normales

El cianuro se hidroliza en el aire húmedo y en soluciones acuosas, donde el equilibrio se establece velozmente y dependiendo del pH, el HCN es resultado de la disolución siguiente:

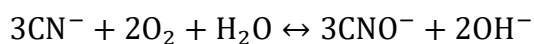
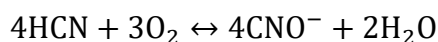


La constante de disociación del ácido hidrocianico débil es de 4.36×10^{-10} y el equilibrio depende del pH. En el gráfico se muestra que el cianuro es termodinámicamente inestable en agua donde sufrirá oxidaciones espontaneas a cianato. Sin embargo, las reacciones son muy lentas, lo que nos permite el proceso de extracción del oro. (Acevedo Calderon, 2024, P. 8)

Figura 1 Diagrama Eh – Ph del sistema H₂O – CN a 25°C



Las reacciones correspondientes son:



(Pérez Dominguez & Higuera Cobos, 2008, p. 1)

2.2.14. Estándares de calidad ambiental (ECA)

El DS N° 004-2017-MINAM es un Decreto Supremo emitido por el Ministerio del Ambiente del Perú en el año 2017. Este decreto aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establece disposiciones complementarias para su aplicación. El objetivo de esta norma es establecer los límites máximos permisibles de contaminantes en el agua, con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente. El DS N° 004-2017-MINAM establece los ECA para diferentes parámetros de calidad del agua, como metales pesados, sustancias orgánicas, microbiológicos, entre otros. Además, establece los procedimientos y requisitos para la evaluación y monitoreo de la calidad del agua, así como las sanciones por incumplimiento de los límites máximos permisibles.

Podemos decir que el DS N° 004-2017-MINAM es una norma importante para la protección del medio ambiente y la salud pública en el Perú, estableciendo los estándares de calidad ambiental para el agua y las disposiciones complementarias para su aplicación.

Tabla 1 Parámetros Físicos - Químicos ECA III

PARÁMETRO	Unidad	Para Riego de Vegetales (D1)	Para Bebida de Animales (D2)
Bicarbonatos	mg/l	518	**
Cianuro Wad	mg/l	0.1	0.1
Cloruros	mg/l	500	**
Conductividad	mg/l	2500	5000
Nitratos + Nitritos	mg/l	100	100
Nitritos	mg/l	10	10
pH	-	6.5 – 8.5	6.5 – 8.4
Sulfatos	mg/l	1000	1000

Fuente: D.S. N°004-2017-MINAM.

Tabla 2 Parámetros Inorgánicos - ECA III

PARÁMETRO	Unidad	Para Riego de	Para Bebida de
		Vegetales (D1)	Animales (D2)
Aluminio	mg/l	5	5
Arsénico	mg/l	0.1	0.2
Bario	mg/l	0.7	**
Berilio	mg/l	0.1	0.1
Boro	mg/l	1	5
Cadmio	mg/l	0.01	0.05
Cobre	mg/l	0.2	0.5
Cobalto	mg/l	0.05	1.0
Cromo Total	mg/l	0.1	1.0
Hierro	mg/l	5	**
Litio	mg/l	2.5	2.5
Magnesio	mg/l	**	250
Manganeso	mg/l	0.2	0.2
Mercurio	mg/l	0.001	0.01
Níquel	mg/l	0.2	1
Plomo	mg/l	0.05	0.05
Selenio	mg/l	0.02	0.05
Zinc	mg/l	2	24

Fuente: D.S. N°004-2017-MINAM.

Los parámetros de los principales elementos de la solución barren de ingreso a la planta comparados a sus LMP y ECA Categoría 3 son mostrados en la tabla 2.

2.3. Definición de términos básicos

- **Tratamiento de efluentes:** Proceso que busca eliminar o reducir la contaminación de los efluentes líquidos o gaseosos generados por actividades industriales, comerciales o domésticas, para cumplir con los estándares de calidad ambiental.
- **Oxidación:** Proceso químico en el cual una sustancia cede electrones, aumentando su estado de oxidación. En el contexto del tratamiento de efluentes, la oxidación se utiliza para transformar compuestos tóxicos en formas menos dañinas.

- **Tiocianato:** Es una sal derivada del ácido tiociánico. En el contexto del tratamiento de efluentes, el tiocianato puede formarse como subproducto de la degradación del cianuro.
- **Catalizador:** Sustancia que acelera una reacción química sin ser consumida en el proceso. En el tratamiento de efluentes, los catalizadores pueden utilizarse para acelerar la degradación de contaminantes.
- **Precipitación:** Proceso en el cual un sólido se separa de una solución en forma de precipitado. En el tratamiento de efluentes, la precipitación se utiliza para eliminar contaminantes mediante la formación de sólidos insolubles.
- **Peróxido de Hidrógeno:** Compuesto químico con propiedades oxidantes, comúnmente utilizado en el tratamiento de efluentes para la degradación de contaminantes.
- **Análisis ICP:** El análisis por espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) es una técnica analítica utilizada para determinar la presencia y concentración de elementos metálicos en muestras líquidas.
- **Detoxificación:** Proceso de eliminación o reducción de la toxicidad de un compuesto o sustancia.
- **Sólidos Totales en Suspensión:** Medida de la concentración de partículas sólidas suspendidas en un líquido.
- **pH:** Medida de acidez o alcalinidad de una solución, que puede influir en la eficacia de los procesos de tratamiento de efluentes.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Mediante el tratamiento de detoxificación de efluentes cianuradas se podrá cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.

2.4.2. Hipótesis específicas

1. Existe suficiente evidencia estadística para sostener que los reactivos influyen significativamente en la detoxificación de efluentes cianuradas para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.
2. Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el tiempo de residencia influye significativamente en la detoxificación de efluentes cianuradas para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variables independientes

Detoxificación de Soluciones cianuradas

INDICADORES

- Dosificación de Reactivos
- Tiempo de Residencia

2.5.2. Variables dependientes

Categoría III de Acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental
(ECA)

INDICADORES

- % Remoción de CN

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Tabla 3 Variables e Indicadores

Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente			
Detoxificación de Soluciones cianuradas	La detoxificación de soluciones cianuradas se refiere al proceso de eliminar o reducir la concentración de cianuro en efluentes mineros para mitigar su impacto ambiental. Este proceso es crucial debido a la toxicidad del cianuro para la vida acuática y humana. El método para llevar a cabo la detoxificación de soluciones cianuradas es el uso de con peróxido de hidrógeno y soda cáustica, entre otros, evaluando el tiempo de residencia.	Reactivos de detoxificación	Dosificación de Peróxido de hidrógeno Dosificación de soda cáustica
INDICADORES			Dosificación de sulfato de cobre
Dosificación de Reactivos			
Tiempo de Residencia		Tiempo de residencia	Minutos (min)
Variable dependiente			
Categoría III de Acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA)	Razón proporcional entre la diferencia de la concentración inicial menos la concentración final, con la concentración inicial.	% Remoción:	Co = concentración inicial Cf = concentración final
INDICADORES		$R = \frac{Co - Cf}{Co} \times 100$	% R = porcentaje de remoción de metales
% Remoción de CN			

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Este trabajo de investigación, presentó un tipo de investigación aplicada - tecnológica en la que se utiliza el conocimiento científico y tecnológico para ofrecer soluciones prácticas a problemas específicos en el ámbito tecnológico.

En palabras de Arias (2012), la metodología de la investigación tecnológica se centra en la creación de conocimiento que aborda directamente problemas específicos, genera productos o procesos innovadores y fomenta la colaboración entre la universidad y la industria para la transferencia de tecnología. Es justo decir que la investigación aplicada es un enfoque que apunta a producir conocimientos y tecnologías innovadores para abordar problemas del mundo real y contribuir al desarrollo económico y social.

3.2. Nivel de investigación

En este estudio, se ha utilizado el nivel explicativo de investigación. Según Oseda (2019), este nivel tiene como objetivo investigar las razones detrás de los eventos al identificar relaciones de causa y efecto. Los estudios explicativos se centran en determinar tanto las causas (a través de la investigación postfacto) como los efectos

(mediante la investigación experimental) mediante la prueba de hipótesis. Los hallazgos y conclusiones obtenidos a través de este nivel de investigación representan el nivel más profundo de conocimiento.

3.3. Métodos de investigación

En la investigación, es común utilizar diferentes métodos para recopilar y analizar información. Entre los métodos empleados se encuentran el analítico, deductivo e inductivo, así como los métodos empíricos basados en la observación y experimentación.

Tamayo y Tamayo (2000) describen el método deductivo como el que comienza con una premisa general y utiliza la lógica para llegar a una conclusión específica. Se utiliza comúnmente en disciplinas formales como matemáticas y filosofía y se considera un enfoque más riguroso y estructurado que el método inductivo. El método deductivo se basa en reglas formales y bien definidas que permiten derivar nuevas conclusiones a partir de premisas conocidas.

Por otro lado, el método inductivo se basa en observar casos específicos para inferir conclusiones más amplias. Al observar situaciones particulares, se propone y prueba una hipótesis, lo cual es confirmada varias veces, donde se llega a una conclusión generalizada. Este método tiene como objetivo establecer patrones o regularidades a partir de la observación de casos individuales.

Estos diferentes métodos de investigación ofrecen herramientas para descomponer, inferir y generalizar información durante el proceso de investigación. Cada una tiene sus ventajas y limitaciones, y su elección depende del tipo de investigación y del objetivo que se persiga. Los métodos deductivo e inductivo son esenciales en el proceso de investigación científica y se complementan entre sí para proporcionar un enfoque integral a la generación de conocimiento.

3.4. Diseño de investigación

El proyecto se basa en un diseño de investigación experimental, (N.Kerlinger, 1975), determina el diseño de investigación como "el plan, la estructura y la estrategia de investigación concebidos para obtener respuestas a preguntas".

Este enfoque implica la manipulación de variables independientes, la medición de variables dependientes, el control de variables experimentales y el uso de técnicas estadísticas para el análisis de datos.

En el contexto del tratamiento de detoxificación de cianuro con peróxido de hidrógeno, un diseño de investigación experimental basado en los principios de Kerlinger implicaría la planificación y ejecución de un estudio que incluya la manipulación controlada de las variables relevantes, la recopilación de datos y su análisis estadístico para evaluar la eficacia del tratamiento.

Además, el diseño de investigación experimental implica la aleatorización de muestras en los diferentes grupos, con el fin de afirmar que cualquier diferencia encontrada entre los grupos se deba únicamente al manejo de la variable independiente y no a otros factores.

3.4.1. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado para el análisis de los resultados de las pruebas experimentales fue el diseño factorial, considerando dos factores (Tiempo de residencia y dosificación de H₂O₂/CNwad); fueron considerados dos niveles para el factor tiempo de residencia y cuatro niveles para el factor dosificación de H₂O₂/CNwad.

En el estudio fueron considerados dos réplicas para finalmente obtener a una sola variable dependiente (grado de remoción del cianuro).

Por lo tanto, el número total de muestras fueron:

$N = \text{número de pruebas};$

a_1, a_2 = niveles del factor A (Tiempo (min)) = 2

b_1, b_2, b_3 y b_4 = niveles del factor B (H_2O_2/CN_{wad}) = 4

r = número de repeticiones = 2

Por consiguiente, el número de pruebas será:

$$N = (2) * (4) * (2) = 16$$

La matriz del diseño experimental del tipo bifactorial se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 4 Matriz de diseño experimental

FACTOR		A (Tiempo)	
		a_1	a_2
B (H_2O_2/CN_{wad})	b_1	a_1b_1	a_2b_1
	b_2	a_1b_2	a_2b_2
	b_3	a_1b_3	a_2b_3
	b_4	a_1b_4	a_2b_4

Para el trabajo de investigación de la remoción de cianuro se realizó el diseño experimental de tipo bifactorial, en el que se varió el tiempo de residencia y dosis de reactivo H_2O_2/CN_{wad} , evaluándose la influencia sobre el porcentaje de eliminación del cianuro contenido en la solución barren. A continuación, se presentan las variables y factores respectivos para el estudio.

Tabla 5 Variables y factores de estudio.

Variable de Estudio	Factores
Independiente	A: Tiempo de residencia (min)
	B: Dosificación del reactivo H_2O_2/CN_{wad}
Dependiente	Remoción del cianuro total (ppm)

3.4.2. Diseño experimental - nivel laboratorio

En la tabla siguiente se presentan los factores y niveles respectivos para el presente estudio.

Tabla 6 Factores y niveles para el diseño experimental.

Factores	Niveles			
	1	2	3	4
Tiempo de residencia (min)	60	90	-	-
Dosificación de H ₂ O ₂ /CN _{wad}	6	8	9	10

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Solución Cianurada de la Poza de efluentes PE-01, proporcionada por la Planta Las Lomas de Casma.

Figura 2 Poza de efluente cianurado



3.5.2. Muestra

La muestra fue constituida por un subconjunto de la solución cianurada de la Poza de efluentes PE-01, es un 1 m³ proporcionada por la Planta Las Lomas de Casma

Figura 3 Muestra de la solución cianurada



Luego de la homogenización del compósito general de la solución barren, se tomó una alícuota de muestra representativa y se envió para la caracterización fisicoquímica. Los resultados se presentan a continuación.

Tabla 7 Resultados del compósito de la solución cianurada

pH	Conductividad	Alcalinidad Total	Alcalinidad CO_3^{2-}	Alcalinidad HCO_3^-	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	N-NH_3
Unidades de pH	umho/cm	mg CaCO_3/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
11,9	4668	928	309	619	41	6	72,7
NH_3	Fluoruros	Cloruros	Aceites y Grasas	Dureza Total	Fe^{+2}	Fe^{+3}	SCN^-
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg CaCO_3/L	mg/L	mg/L	mg/L
88,4	0,8	93,3	0,52	352	<0,010	<0,010	8,6
TSS	TSD	Fosfatos	Sulfatos	Hg (t)	CN Total	CN Wad	CN Libre
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
55	3101	0,07	494	0,2519	198,333	181,667	179,11

Fuente: Reporte de laboratorio

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La investigación desarrollada se enfoca en realizar pruebas de detoxificación en el laboratorio para analizar la descomposición del efluente con contenido de cianuro

Para llevar a cabo estas pruebas, se utilizarán diferentes equipos de medición y herramientas de laboratorio, como recipientes de cristal, buretas, pipetas, tamices,

reactivos, (peróxido de hidrogeno, sulfato de cobre pentahidratado, soda cáustica, ácido sulfúrico, etc.), agitadores, calentadores y balanzas de precisión.

En la parte práctica del estudio, se realizarán pruebas de oxidación de cianuro a través de adición de peróxido de hidrógeno, donde evaluaremos su ratio de consumo y el tiempo de residencia en la remoción del cianuro presente en la solución proveniente de la planta ADR.

En resumen, este proyecto de investigación utilizará tecnología de medición y equipos de laboratorio para llevar a cabo pruebas de detoxificación de soluciones cianuradas y analizar el tiempo de residencia con la ratio de consumo de peróxido de hidrógeno y su efecto en la remoción de cianuro, para cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) de categoría III, el cual es riego de vegetales y bebida de animales.

3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

3.7.1. Selección de los instrumentos de investigación

La selección de los instrumentos de investigación, se hicieron en función a los factores experimentales de la detoxificación de los efluentes cianuradas como tema en estudio.

3.7.2. Requisitos de los instrumentos de medición

Los instrumentos de medición usados en el laboratorio para la recolección de datos experimentales; cumplieron con tres requisitos fundamentales:

- La confiabilidad, los instrumentos utilizados en la investigación, si cumplieron con la certificación requerida, por lo tanto, nos dieron a obtener resultados confiables.
- La validez, los instrumentos usados nos dan la seguridad y exactitud, ya que cuenta con la certificación de uso.

- La objetividad, los instrumentos usados cumplieron con el objetivo, dando la confiabilidad, validez y objetividad, donde se asume teóricamente que en la investigación se ha cumplido por lo menos con una de las condiciones de los instrumentos; en consecuencia, vale afirmar que el error cometido en la investigación fue considerado mínimo.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.

3.8.1. Técnicas de procesamiento de datos

El proceso mediante el cual los datos individuales se agrupan y estructuran con el propósito de responder a:

- Problema de investigación
- Objetivos
- Hipótesis de estudio

3.8.2. Técnicas de análisis de datos

La data obtenida fue procesada mediante el uso de MINITAB, porque se hizo la prueba ANOVA de los factores que influyen en el trabajo de investigación, estos factores fueron representados en gráficos de barra, cuadros comparativos, entre otros.

- Procesamiento manual
 - Selección de muestra
 - Análisis químico del efluente
 - Detoxificación
- Procesamiento electrónico
 - Minitab
 - Microsoft Excel
- Técnicas estadísticas
 - Cálculo de LMP

- Cálculo del porcentaje de la eliminación del cianuro

3.9. Tratamiento estadístico

En el desarrollo del análisis estadístico, fue crucial emplear modelos tabulares y gráficos para procesar los datos de una manera efectiva. Además, contar con software especializado como Minitab 19 y Ms-Excel 2019 resulta ser de gran ayuda. Sin embargo, es importante señalar que el simple uso de estas herramientas no garantiza la calidad de los análisis realizados si no la interpretación de los datos obtenidos.

En este sentido, el uso de medidas de tendencia central y dispersión como la media, mediana, moda, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación es esencial para resumir y analizar la distribución de datos en el conjunto de información.

Estas medidas brindan una idea general de cómo se distribuyen los datos y permiten identificar valores atípicos o extremos. Sin embargo, es fundamental recordar que estas medidas solo proporcionan una visión limitada de los datos y pueden resultar engañosas cuando se utilizan de manera aislada.

Además, se menciona el uso del coeficiente de correlación y las pruebas de Minitab 2019 como herramientas para probar hipótesis de investigación y determinar la fuerza y relevancia de las relaciones encontradas.

Estas herramientas son comúnmente utilizadas en estudios de investigación para evaluar la relación entre variables y obtener conclusiones estadísticas. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que estas herramientas tienen ciertas limitaciones y no pueden proporcionar una conclusión definitiva sobre la existencia o dirección de una relación; es crucial recordar que el análisis de datos va más allá de simplemente aplicar fórmulas y utilizar programas. Es necesario tener un enfoque crítico y comprender las limitaciones de las herramientas utilizadas. La interpretación de los resultados

obtenidos y la realización de conclusiones estadísticas requieren de un análisis cuidadoso y riguroso.

3.10. Orientación ética filosófica y epistémica

La orientación ética en una tesis de investigación es fundamental para garantizar la integridad y la calidad de la investigación. En primer lugar, nosotros como investigadores presentamos una comprensión clara de los principios éticos que rigen la investigación, como la honestidad, la transparencia, la confidencialidad y el respeto por los derechos de los participantes. Además, es importante que el investigador tenga en cuenta las implicaciones éticas de su investigación, como el impacto potencial en la salud y el bienestar de los participantes, la privacidad y la confidencialidad de los datos, y la posible discriminación o estigmatización de ciertos grupos.

Para garantizar la orientación ética en la tesis de investigación, se hizo lo recomendable lo cual fue seguir las pautas éticas establecidas por las instituciones académicas. Estas pautas suelen incluir la obtención del consentimiento informado de los participantes, la protección de la privacidad y la confidencialidad de los datos, y la divulgación transparente de los resultados de la investigación.

Además, nosotros como investigador tuvimos en cuenta las implicaciones éticas de su investigación desde el diseño del estudio hasta la obtención de los resultados.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Recepción de muestra

La recepción de muestras en el laboratorio de muestras de cianuro de la planta Las Lomas involucró un IBC (Intermediate Bulk Container) de 1000 litros de solución estéril con pH 12.0, preservada con solución de soda cáustica. El muestreo en sitio fue realizado por personal de la planta, asegurando la representatividad de las muestras para el servicio de pruebas de laboratorio.

4.1.2. Parámetros de elementos de los efluentes cianurados

Los parámetros de los principales elementos de la solución cianurada de ingreso a la planta comparado al ECA Categoría III son mostrados en la tabla 7, para lo cual se necesita hacer pruebas de detoxificación de efluente para su manejo y detoxificación con el objetivo de cumplir con los LMP en el efluente, y los ECA Categoría III en el cuerpo receptor.

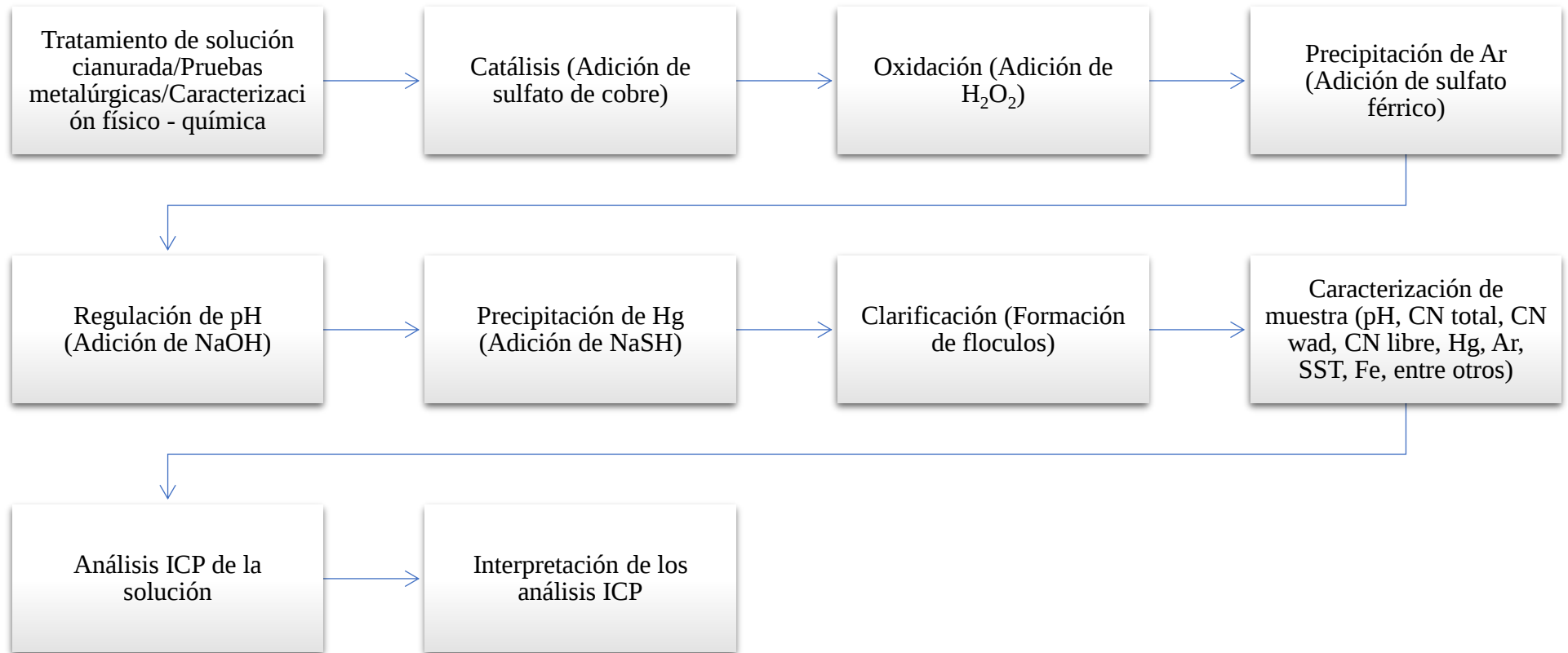
Tabla 8 Caracterización solución cianurada con los estándares de calidad

Parámetro	Solución barren (Cabeza)	ECA III	
		D1: Riego de vegetales	D2: Bebida de animales
TSS	55	-	-
AyG (mg/l)	0.52	5	10
pH	11.9	6.5 – 8.5	6.5 – 8.4
As Total (mg/l)	2.895	0.1	0.2
Cd Total (mg/l)	0.013	0.01	0.05
Cu Total (mg/l)	6.206	0.2	0.5
Cr Total (mg/l)	<0.004	0.1	1.0
Fe Total (mg/l)	0.42	5	**
Hg Total (mg/l)	0.2519	0.001	0.01
Zn Total (mg/l)	1.018	2	24
CN Total (mg/l)	198.333	-	-

4.1.3. Diseño de plan de pruebas

A continuación, se presenta el diagrama de flujo de las pruebas de laboratorio realizadas:

Tabla 9 Diagrama de flujo de pruebas de laboratorio.



4.1.4. Caracterización del efluente cianurados

Luego de la homogenización del compuesto general de la solución cianurada, se tomó una alícuota de muestra representativa y se envió para la caracterización fisicoquímica. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 10 Resultados de análisis fisicoquímicos solución barren

pH	Conduct	Alc. Total	Alc. CO₃⁻²	Alc. HCO₃⁻	NO₃-N	NO₂-N	N-NH₃
Unid.	umho/cm	mg CaCO ₃ /L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
11.9	4668	928	309	619	41	6	72,7
NH₃	Fluoruro	Cloruros	Aceites y grasas	Dureza total	Fe⁺²	Fe⁺³	SCN⁻
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg CaCO ₃ /L	mg/L	mg/L	mg/L
88,4	0,8	93,3	0,52	352	<0.010	<0.010	8,6
TSS	TSD	Fosfatos	Sulfatos	Hg (t)	CN total	CN_{wad}	CN libre
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
55	3101	0,07	494	0,2519	198,333	181,667	179,11

Fuente: Reporte de laboratorio

Las concentraciones de CNtotal, CNlibre y CNwad, son: 198.33 ppm, 179.11 ppm, y 181.66 ppm, respectivamente. También presenta un pH de 11.9, 928 mg CaCO₃/l de alcalinidad total, 494 ppm de sulfatos, y 88.4 ppm de amoníaco.

Se evidencia una concentración de 8.6 ppm de tiocianato. Las concentraciones de fluoruros y cloruros son: 0.8 ppm y 93.3 ppm, respectivamente.

Tabla 11 Análisis de ICP en muestra compósito de solución barren

Ag (t)	Ag (d)	Al (t)	Al (d)	As (t)	As (d)	Ba (t)	Ba (d)	Be (t)	Be (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,134	0,102	0,03	0,03	2,895	2,723	0,024	0,013	<0,0003	<0,0003
Bi (t)	Bi (d)	B (t)	B (d)	Ca (t)	Ca (d)	Cd (t)	Cd (d)	Ce (t)	Ce (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
<0.02	<0.02	0,015	0,012	138,4	134,37	0,013	0,011	<0.02	<0.02
Co (t)	Co (d)	Cr (t)	Cr (d)	Cu (t)	Cu (d)	Fe (t)	Fe (d)	K (t)	K (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,189	0,162	<0,004	<0,004	6,206	4,842	0,42	0,34	21,87	17,24
Li (t)	Li (d)	Mg (t)	Mg (d)	Mn (t)	Mn (d)	Mo (t)	Mo (d)	Na (t)	Na (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
<0,004	<0,004	0,12	0,1	0,004	0,003	0,01	0,008	851	827,79
Ni (t)	Ni (d)	P (t)	P (d)	Pb (t)	Pb (d)	Sb (t)	Sb (d)	Se (t)	Se (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,063	0,051	0,07	<0,06	<0,01	<0,01	0,066	0,057	<0,02	<0,02
SiO2 (t)	SiO2 (d)	Sn (t)	Sn (d)	Sr (t)	Sr (d)	Ti (t)	Ti (d)	Tl (t)	Tl (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
88,94	81,14	<0,007	<0,007	0,2723	0,2179	<0,01	<0,01	0,1	0,08
V (t)	V(d)	Zn (t)	Zn (d)						
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L						
0,004	0,004	1,018	0,801						

Fuente: Reporte de laboratorio

Los resultados del análisis tipo ICP (metales totales y disueltos), de la muestra compósito de solución barren. Las concentraciones de metales son: As(t): 2.895 ppm, Co(t): 0.189 ppm, Cu(t): 6.206 ppm, Fe(t): 0.42 ppm, Pb(t): < 0.01 ppm, Se(t): < 0.02 ppm, SiO2(t): 81.14 ppm y Zn(t): 1.018 ppm.

La solución, presenta una concentración de Na(t): 851 ppm, debido a la adición de soda cáustica, para preservar la solución y reducir la posibilidad de pérdida de cianuro por volatilización.

En cuanto a las especies disueltas se tienen 4.842 ppm Cu(d) respecto a 6.206 ppm de Cu(t), esto significa que el 78% de la concentración de Cu se encuentra en una fracción menor de 0.45 μm (tamaño de abertura de poro en filtración), 0.34 ppm Fe(d), respecto a 0.42 ppm Fe(t), esto significa que el 81% de la concentración de Fe se encuentra también en una fracción menor de 0.45 μm (tamaño de abertura de poro en filtración), el 19% restante de la concentración de Fe se encuentra como sólidos suspendidos.

También se observa 0.162 ppm Co(d) respecto a 0.189 ppm de Co(t), evidenciando que el 85.71% de la concentración de Co se encuentra en una fracción menor de 0.45 μm , y el 14.29% restante de la concentración metálica de Co se encuentra como sólidos suspendidos, en una fracción $> 0.45 \mu\text{m}$.

4.1.5. Pretratamiento de la solución barren

Conociendo de antemano que el compósito de solución cianurada tenía un pH de 12, se requirió evaluar el efecto de la reducción de pH desde un valor inicial de 12.0 a 10.3, sobre el contenido metálico. Para ello, se hicieron pruebas de acidificación de solución barren, adicionando una solución de ácido sulfúrico al 10% en peso. A continuación, se presenta, las condiciones operativas:

- a) Volumen solución: 18 litros
- b) pH inicial: 12.0
- c) pH final: 10.3
- d) Velocidad de agitación: 103 rpm
- e) Tiempo de contacto: 35 minutos
- f) Volumen solución ácido sulfúrico: 40.50 cm^3
- g) Consumo de ácido sulfúrico: 234 ppm

Tabla 12 Análisis de ICP en muestra de solución barren acidificada

Ag (t)	Al (t)	As (t)	Ba (t)	Be (t)	Bi (t)	B (t)	pH	TSS
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,137	0,05	2,806	0,027	<0,0003	0,02	0,017	10,3	38
Ca (t)	Cd (t)	Ce (t)	Co (t)	Cr (t)	Cu (t)	Fe (t)	CN Libre	CN Wad
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
130,31	0,017	<0,02	0,175	<0,004	5,852	0,4	170,93	173,33
K (t)	Li (t)	Mg (t)	Mn (t)	Mo(t)	Na (t)	Ni (t)	CN Total	Turbidez
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	NTU
20,75	<0,004	0,18	0,009	0,014	836,81	0,064	201,667	<1
P (t)	Pb (t)	Sb (t)	Se (t)	SiO2 (t)	Sn (t)	Sr (t)	Ti (t)	Tl (t)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,09	0,02	0,062	<0,02	98,64	<0,007	0,2559	<0,01	0,07
V (t)	Zn (t)							
mg/L	mg/L							
0,005	0,999							

Fuente: Reporte de Ensayo

En la tabla 12, se muestra el efecto de la disminución del pH en la solución barren compósito. Al descender el pH de 12.0 a 10.3, las concentraciones de especies cianuradas son: CNtotal: 201.667 ppm, CNwad 173.33 ppm, CNlibre 170.93 ppm.

Se evidencia una relación directa entre la disminución del pH de la solución barren y las concentraciones de especies de cianuros como: CNtotal, CNlibre y CNwad.

4.1.6. Pruebas détox con diferentes ratios de H₂O₂ / CN_{wad} y pH de solución barren

- **Pruebas de detoxificación con pH: 10.6**

Con el objetivo de evaluar el efecto combinado de los ratios H₂O₂/CN_{wad}, y pH de la solución barren, se realizaron diferentes pruebas de tipo exploratorias. Conociendo de antemano, que el pH de la solución barren compósito fue 12.0, se adicionó volúmenes sucesivos de solución de

ácido sulfúrico al 10% en peso, para regular el pH de inicio de las pruebas de detoxificación.

Tabla 13 Dosificación de reactivos en las pruebas realizadas pH: 10.6

N° Prueba	Cu ⁺²	Vol. Sol CuSO ₄ .5H ₂ O 3.3%Peso (ml)	Fe ⁺²	Vol. Sol Fe ₂ (SO ₄) ₃ 10%Peso (ml)	NaSH (ppm)	Vol. Sol NaSH 5%Peso (ml)	Floc A-110 (ppm)	Vol. Sol Floc. 0.1% Peso (ml)
PE-LM-03	50	11.78	25	3.3	50	2.75	1.5	3
PE-LM-04	50	11.78	25	3.3	50	2.75	1.5	3
PE-LM-05	50	11.78	25	3.3	50	2.75	1.5	3
PE-LM-06	50	11.78	25	3.3	50	2.75	1.5	3
PE-LM-07	50	11.78	25	3.3	50	2.75	1.5	3
PE-LM-08	50	11.78	25	3.3	50	2.75	1.5	3

Fuente: laboratorio metalúrgico

En la tabla 13, se muestran las condiciones de dosificación de reactivos en las pruebas realizadas. Se prepararon soluciones de sulfato de cobre al 3.3% peso, sulfato férrico al 10% peso, sulfhidrato de sodio al 5% peso y 0.1% de floculante A-110. Las concentraciones equivalentes de reactivos fueron: 50 ppm Cu⁺², 25 ppm Fe⁺³ y 50 ppm NaSH. Los tiempos de contacto fueron:

- Regulación de pH: 5 minutos.
- Catalización: 5 minutos (sulfato de cobre).
- Detoxificación: 60 minutos (peróxido de hidrógeno 50% peso).
- Precipitación As/Fe: 15 minutos (sulfato férrico).
- Precipitación Hg: 15 minutos (sulfhidrato de sodio).
- Floculación: 3 minutos (A-110).
- Separación S/L: 30 minutos.
- Velocidad de agitación: 150 rpm.

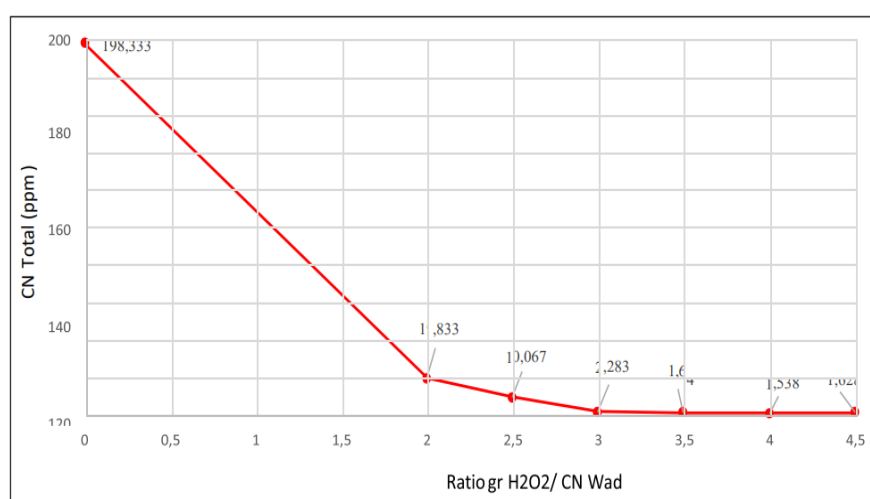
Tabla 14 Condiciones operativas en pruebas de detoxificación pH:10.6. 60 min

Código de Prueba	Ratio H_2O_2/CN_{Wad}	CN Wad (ppm)	Vol. Sol. (L)	pH Inicial Solución Barren	Regulación pH H_2SO_4 (ppm)	pH Inicial Pruebas Detox	Dosificación H_2O_2 (ppm)	Tiempo Agit. H_2O_2 (min)
PE-LM-03	2	180	2	11,9	260	10,6	360	60
PE-LM-04	2,5	180	2	11,9	260	10,6	450	60
PE-LM-05	3	180	2	11,9	260	10,6	540	60
PE-LM-06	3,5	180	2	11,9	260	10,6	630	60
PE-LM-07	4	180	2	11,9	260	10,6	720	60
PE-LM-08	4,5	180	2	11,9	260	10,6	810	60

Fuente: Laboratorio metalúrgico

En la tabla 14, se muestran las condiciones operativas en pruebas de detoxificación. Se requirió 260 ppm de ácido sulfúrico, para reducir el pH, desde 11.9 a 10.6 (rango operativo pH típico solución barren planta ADR). Los ratios gr H_2O_2/CN_{Wad} , fueron: 2, 2.5, 3, 3.5, 4, y 4.5. Las dosificaciones equivalentes de H_2O_2 son: 360, 450, 540, 630, 720, y 810 ppm, respectivamente.

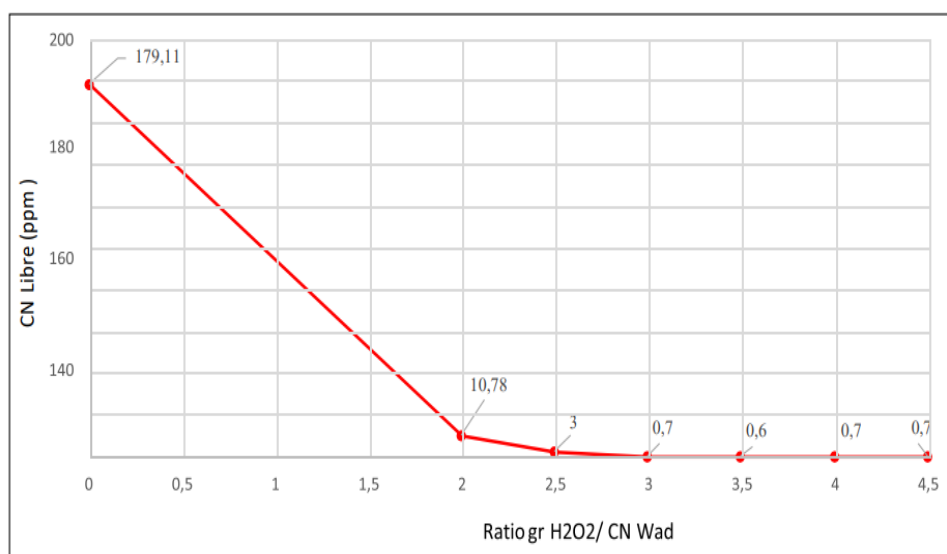
Figura 4 Grado de detoxificación de CNtotal en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{Wad} : 2.0-4.5 y pH: 10.6.



En la figura 4, se muestra el grado de detoxificación de CN total en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{Wad} , en rangos de 2.0-4.5. Se evidencia y se resalta

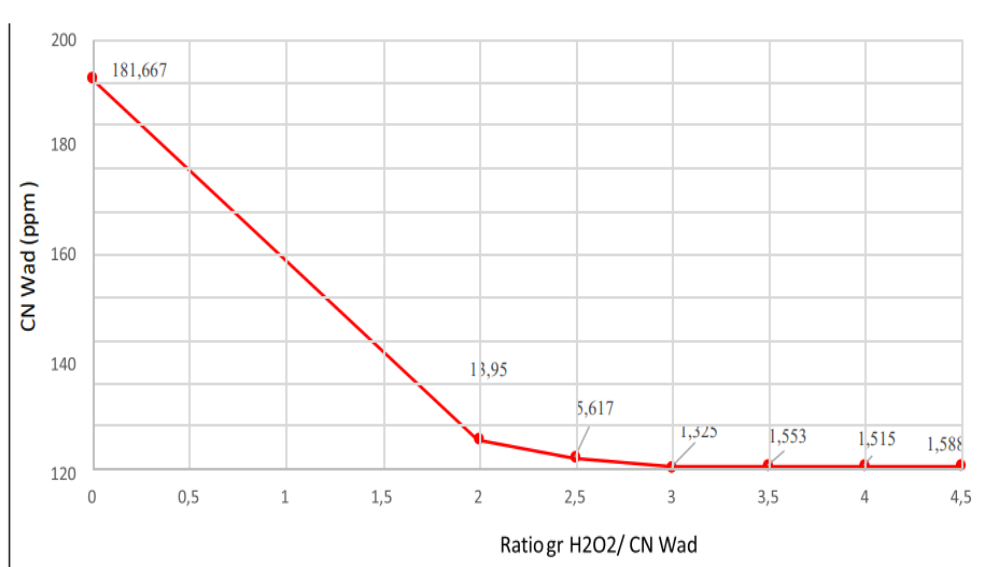
que, con ratios de dosificación de 4.0-4.5 gr $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CN}_{\text{wad}}$ para un tiempo de contacto de 60 minutos, se logra alcanzar rangos de concentraciones de 1.538- 1.628 ppm de CN_{total} . Las soluciones detoxificadas finales para ensayos químicos de especies de cianuros no fueron filtradas. La pulpa de lodos metálicos precipitados presentó características coloidales.

Figura 5 Grado de detoxificación de CN_{libre} en función de la variación de los ratios gr $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CN}_{\text{wad}}$: 2.0-4.5 y pH:10.6.



En la figura 5, se muestra el grado de detoxificación de CN_{libre} , en función de la variación de los ratios gr $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CN}_{\text{wad}}$ en rangos de 2.0-4.5. Se evidencia que, con ratios de dosificación de 3.5 - 4.5 gr $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CN}_{\text{wad}}$ para un tiempo de contacto de 60 minutos se logra alcanzar rangos de concentraciones de 0.6-0.7 ppm de CN_{libre} . Se evidencia que el CN_{libre} , es fácilmente atacado por la acción oxidante del peróxido de hidrógeno.

Figura 6 Grado de detoxificación de CN_{wad} en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 2.0-4.5 y pH:10.6.



En la figura 6, se muestra el grado de detoxificación de CN_{wad} en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} en rangos de 2.0-4.5. Se evidencia que con ratios de dosificación de 3.5-4.5 gr H_2O_2/CN_{wad} , para un tiempo de contacto de 60 minutos se logra alcanzar rangos de concentraciones de 1.515 - 1.588 ppm de CN_{wad} . Nuevamente, se evidencia que la pulpa de lodos metálicos precipitados presenta características coloidales.

4.1.7. Tiempo de cambio de coloración en detoxificación a pH: 10.6

En el proceso de detoxificación de soluciones cianuradas con la adición de soluciones de peróxido de hidrógeno, es común verificar el cambio de coloración que tiene la solución barren, desde una coloración transparente hacia una coloración tipo amarillo-verdosa, esta coloración indica la formación de hidróxidosde cobre a partir de la adición de sulfato de cobre, reacciones químicas con cianuro libre y los radicales hidroxilos presentes en la solución barren.

Tabla 15 Tiempos de cambio de coloración en pruebas detoxificación con pH 10.6.

Código de Prueba	Ratio gr H_2O_2/CN_{wad}	CN Wad (ppm)	Vol. Sol. (L)	pH Inicial Pruebas Detox	Tiempo Cambio Color (min)	Tiempo Agit. H_2O_2 (min)
PE-LM-03	2	180	2	10,6	77	60
PE-LM-04	2.5	180	2	10,6	57	60
PE-LM-05	3	180	2	10,6	46	60
PE-LM-06	3.5	180	2	10,6	38	60
PE-LM-07	4	180	2	10,6	30	60
PE-LM-08	4.5	180	2	10,6	26	60

Fuente: laboratorio metalúrgico

En la tabla 15, se muestra la variación en el tiempo de formación de hidróxido de cobre, a partir del proceso de detoxificación de cianuro. Se evidencia que hay una relación proporcional directa entre la ratio gr H_2O_2/CN_{wad} y el tiempo de generación de hidróxido de cobre, en la cual, la solución adquiere una coloración de tipo amarillo - verdosa. Se debe encontrar el rango de ratio gr H_2O_2/CN_{wad} y la dosificación de sulfato de cobre, para reducir notablemente el tiempo de reacción para la formación de hidróxidos de cobre.

4.1.8. Pruebas de detoxificación con pH: 11.5

Con el objetivo de evaluar el efecto combinado de los ratios H_2O_2/CN_{wad} y pH de la solución barren, se realizaron pruebas de detoxificación de cianuro, incrementando los ratios de gr H_2O_2/CN_{wad} y fijando el pH alcalino de la solución barren en 11.5. Estas pruebas se realizaron sin la adición de solución de ácido sulfúrico al 10% peso, para regular el pH inicial en Détox.

Tabla 16 Dosificación de reactivos en las pruebas realizadas pH: 11.5

Código de prueba	Ratio $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CN}_{\text{Wad}}$	CN_{Wad} (ppm)	Cu^{+2} (ppm)	Vol. Sol. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 3.3% Peso (ml)	Fe^{+3} (ppm)	Vol. Sol. $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 10% Peso (ml)	NaSH (ppm)	Vol. Sol. NaSH 5% Peso (ml)	Floc. A-110 (ppm)	Vol. Sol. Floc. 0.1% Peso (ml)
PE-LM-10	5	180	50	11,78	25	3,3	50	2,75	1,5	3
PE-LM-11	6	180	50	11,78	25	3,3	50	2,75	1,5	3
PE-LM-12	7	180	50	11,78	25	3,3	50	2,75	1,5	3
PE-LM-13	8	180	50	11,78	25	3,3	50	2,75	1,5	3

Fuente: Laboratorio metalúrgico

En la tabla 16, se muestra la dosificación de reactivos en las pruebas realizadas a pH:11.5. Se prepararon soluciones de sulfato de cobre al 3.3% peso, sulfato férrico al 10% peso, sulfhidrato de sodio al 5% peso y 0.1% de floculante A-110. Las concentraciones equivalentes de reactivos fueron: 50 ppm Cu^{+2} , 25 ppm Fe^{+3} y 50 ppm NaSH . Los tiempos de contacto fueron:

- Catalización: 5 minutos (sulfato de cobre),
- Detoxificación: 60 minutos (peróxido de hidrógeno 50% peso),
- Precipitación As/Fe: 15 minutos (sulfato férrico),
- Precipitación Hg: 15 minutos (sulfhidrato de sodio),
- Floculación: 3 minutos (A-110),
- Separación S/L: 30 minutos,
- Velocidad de agitación: 150 rpm.

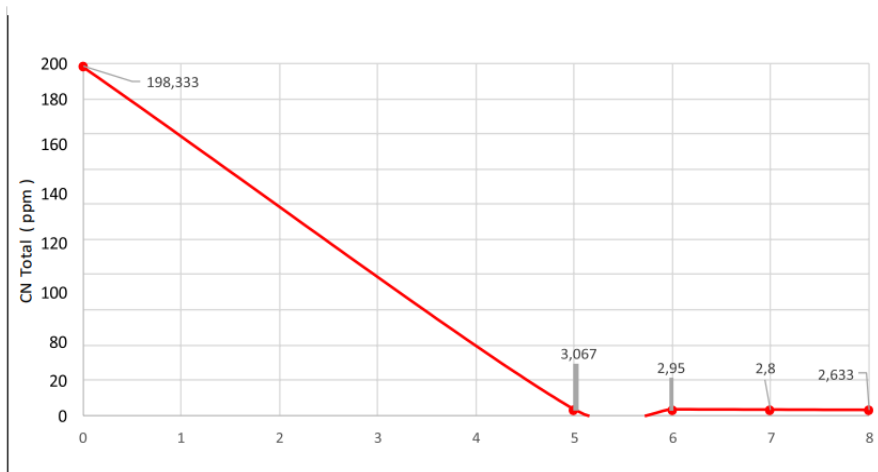
Tabla 17 Condiciones operativas en pruebas de detoxificación pH: 11.5.

Código de prueba	Ratio $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CN}_{\text{wad}}$	CN_{wad} (ppm)	Vol. Sol. (L)	Ph Inicial Solución Barren	Ph Inicial Prueba Detox	Conc. H_2O_2 (ppm)	Tiempo de Agit. H_2O_2 (min)
PE-LM-10	5	180	2	11,51	11,51	900	60
PE-LM-11	6	180	2	11,51	11,51	1080	60
PE-LM-12	7	180	2	11,51	11,51	1260	60
PE-LM-13	8	180	2	11,51	11,51	1440	60

Fuente: Laboratorio metalúrgico

En la tabla 17, se muestran las condiciones operativas en pruebas de detoxificación con pH:11.5. Los ratios gr $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CN}_{\text{wad}}$ fueron: 5, 6, 7 y 8. Las dosificaciones equivalentes de H_2O_2 fueron: 900, 1080, 1260 y 1440 ppm, respectivamente.

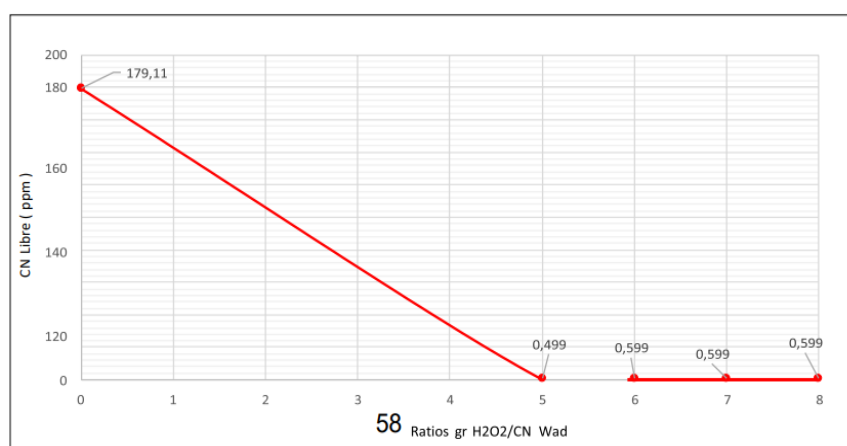
Figura 7 Grado de detoxificación de CN_{total} en función de la variación de los ratios gr $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CN}_{\text{wad}}$: 5-8 y pH:11.5.



En la figura 7, se muestra el grado de detoxificación de CN_{total} en función de la variación de los ratios gr $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CN}_{\text{total}}$, en rangos de 5-8, y pH: 11.51. Se evidencia que con ratios de dosificación de 5-8 gr $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CN}_{\text{total}}$, para un tiempo de contacto de 60 minutos, se logra alcanzar rangos de concentraciones de CN_{total} de 3.067-2.633 ppm. Se alcanza una remoción de CN_{total} de 98.67%. Con un pH inicial de solución

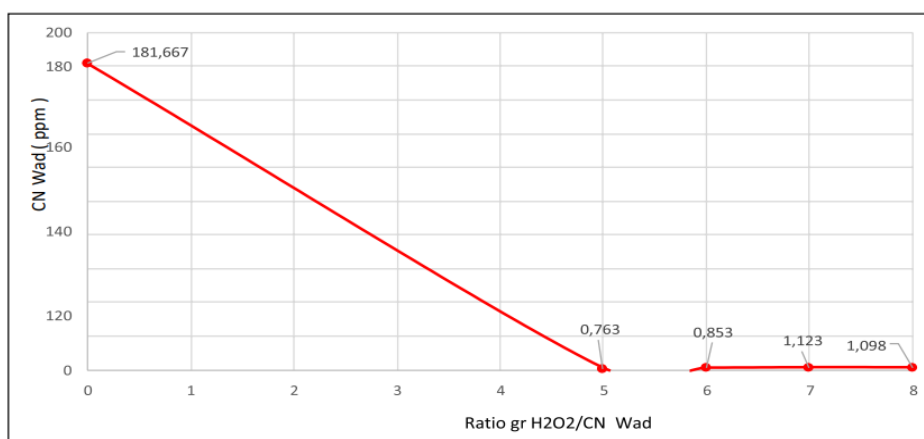
barren de 11.51 y con un ratio de 8 gr $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CN}_{\text{wad}}$, no es posible alcanzar una concentración menor de 1 ppm de CN_{total} . La solución enviada para análisis de cianuros no fue filtrada. Se verifica una vez más, la presencia de coloides en las pulpas obtenidas en las pruebas.

Figura 8 Grado de detoxificación de CN_{libre} en función de la variación de los ratios gr $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CN}_{\text{wad}}$: 5-8 y pH:11.5



En la figura 8, se muestra el grado de detoxificación de CN_{libre} , en función de la variación de los ratios gr $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CN}_{\text{wad}}$: 5-8 y pH: 11.5. Se obtiene una remoción de 99.72% de CN_{libre} . Se verifica la acción química oxidativa del peróxido de hidrógeno sobre el CN_{libre} en medio alcalino.

Figura 9 Grado de detoxificación de CN_{wad} en función de la variación de los ratios gr $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CN}_{\text{wad}}$: 5-8 y pH:11.5.



En la figura 9, se muestra el grado de detoxificación de CN_{wad} , en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH: 11.5. Se obtiene una remoción de 99.58% de CN_{wad} en medio alcalino.

4.1.9. Pruebas de detoxificación con pH: 9.5

Con el objetivo de evaluar el efecto combinado de los ratios H_2O_2/CN_{wad} y pH de la solución barren, se realizaron pruebas de detoxificación de cianuro, incrementando los ratios de gr H_2O_2/CN_{wad} y fijando el pH alcalino de la solución barren en 9.5. Estas pruebas se realizaron con la adición de solución de ácido sulfúrico al 10% peso, para regular el pH inicial en Détox.

Tabla 18 Condiciones operativas en pruebas de detoxificación pH: 9.5.

Código de prueba	Ratio H_2O_2/CN_{wad}	CN_{wad} (ppm)	Vol. Sol. (L)	Ph Inicial Solución Barren	Ph Prueba Detox	Conc. H_2O_2 (ppm)	Tiempo de Agit. (min)
PE-LM-14	5	180	2	11.51	9.50	900	60
PE-LM-15	6	180	2	11.51	9.50	1080	60
PE-LM-16	7	180	2	11.51	9.51	1260	60
PE-LM-17	8	180	2	11.51	9.52	1440	60

Fuente: laboratorio metalúrgico

La tabla 18, muestra las condiciones operativas de las pruebas de detoxificación realizadas con un pH de solución: 9.5.

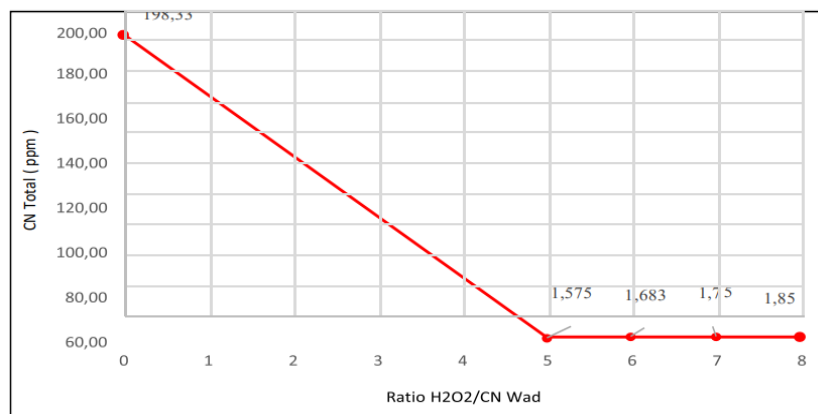
Las concentraciones equivalentes de reactivos fueron: 50 ppm Cu^{+2} , 25 ppm Fe^{+3} , y 50 ppm NaSH. Los tiempos de contacto fueron:

- Catalización: 5 minutos (sulfato de cobre),
- Detoxificación: 60 minutos (peróxido de hidrógeno 50% peso),
- Precipitación As/Fe: 15 minutos (sulfato férrico),
- Precipitación Hg: 15 minutos (sulfhidrato de sodio),
- Floculación: 3 minutos (A-110),

- f) Separación S/L: 30 minutos,
- g) Velocidad de agitación: 150 rpm.

Figura 10 Grado de detoxificación de CN_{total} en función de la variación de los ratios gr

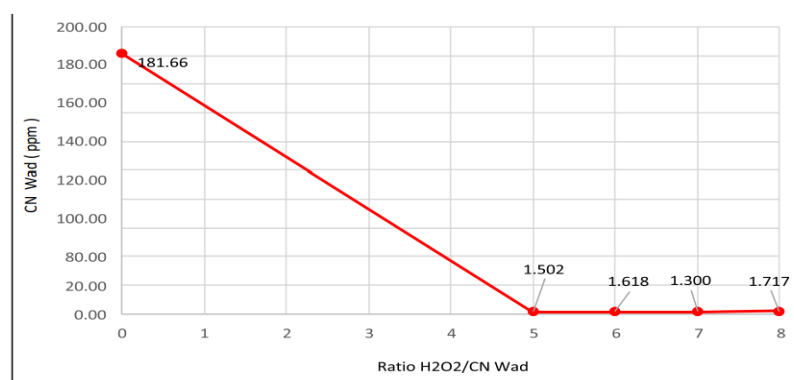
H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH:9.5.



En la figura 10, se muestra el grado de detoxificación de CN_{total} , en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH: 9.5. Se obtiene una remoción final de CN_{total} de 99.2% (ratio 5). Las soluciones detoxificadas fueron ensayadas sin ser filtradas. Se evidencia un ligero incremento en el grado de remoción de CN_{total} al disminuir el pH de la solución barren. Según datos reportados, no se aprecia una marcada diferencia entre las concentraciones finales de CN_{total} , usando ratios 6 y 7.

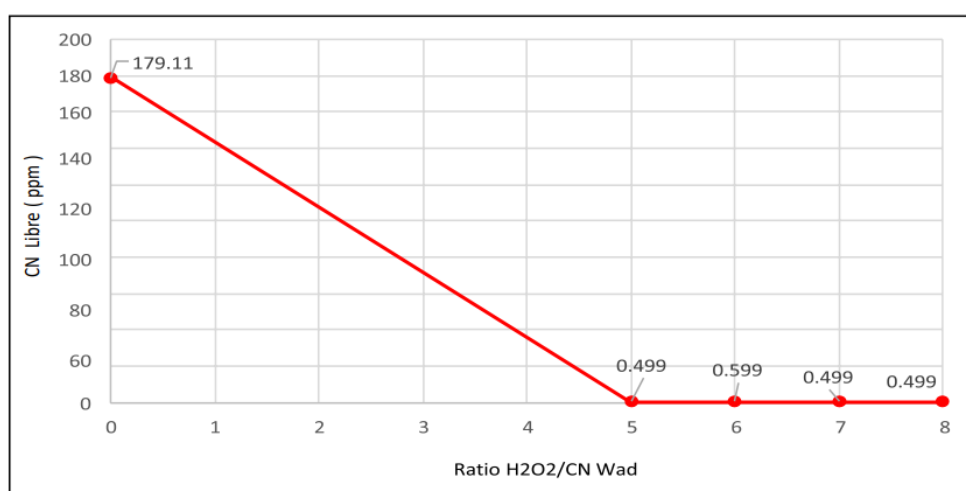
Figura 11 Grado de detoxificación de CN_{wad} en función de la variación de los ratios gr

H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH:9.5



En la figura 11, se muestra el grado de detoxificación de CN_{wad} , en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH: 9.5. Se obtiene una remoción final de CN_{wad} de 99.28% (ratio 7). Las soluciones detoxificadas fueron ensayadas sin ser filtradas. Se evidencia un mayor grado de remoción de CN_{wad} usando un ratio 7 frente a los ratios 5, 6, y 8, respectivamente.

Figura 12 Grado de detoxificación de CN libre en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH:9.5.



En la figura 12, se muestra el grado de detoxificación de CN_{libre} , en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH: 9.5. Se obtiene una remoción final de CN_{libre} de 99.72%, cuando se usa los ratios 5, 7, y 8 respectivamente. Se evidencia la capacidad oxidativa del peróxido de hidrógeno sobre el CN_{libre} presente en las soluciones cianuradas.

4.1.10. Pruebas de detoxificación con pH: 10.6 y ratios H_2O_2/CN_{Wad} : 5-8

Se realizaron pruebas de laboratorio, para evaluar el efecto del pH de solución barren y la adición de ratios H_2O_2/CN_{wad} : 5-8. A continuación, se presentan las condiciones operativas:

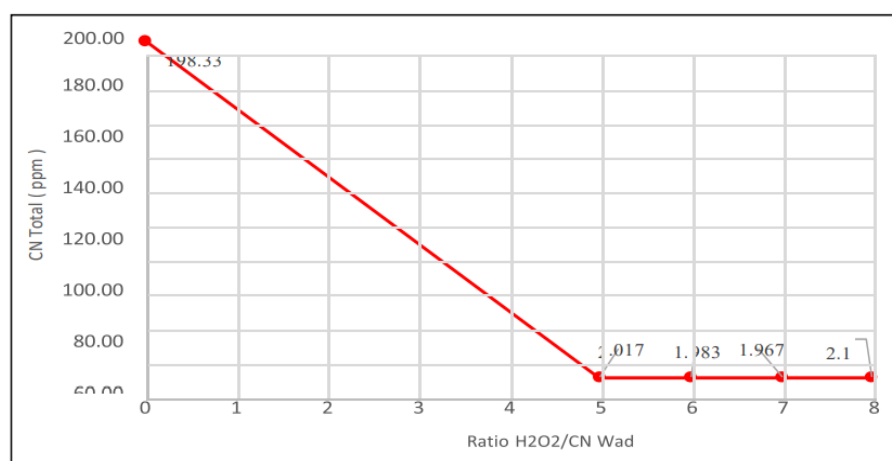
Tabla 19 Grado de detoxificación de CN libre en función de la variación de los ratios
gr H₂O₂/CN wad: 5-8 y pH:10.6.

Código de prueba	Ratio H ₂ O ₂ /CN _{wad}	CN _{wad} (ppm)	Vol. Sol. (L)	Ph Inicial Solución Barren	Ph Prueba Detox	Conc. H ₂ O ₂ (ppm)	Tiempo de Agit. (min)
PE-LM-18	5	180	2	11.51	10.6	900	60
PE-LM-19	6	180	2	11.51	10.6	1080	60
PE-LM-20	7	180	2	11.51	10.6	1260	60
PE-LM-21	8	180	2	11.51	10.6	1440	60

Fuente: laboratorio metalúrgico

La tabla 19, muestra las condiciones operativas de las pruebas de detoxificación realizadas con un pH de solución: 10.6 y ratios H₂O₂/CN_{wad}: 5-8. Similar a los casos anteriores, se utilizó una solución de ácido sulfúrico al 10% peso para lograr la disminución del pH de 11.5 a 10.6.

Figura 13 Grado de detoxificación de CN_{total} en función de la variación de los ratios gr H₂O₂/CN_{wad}:

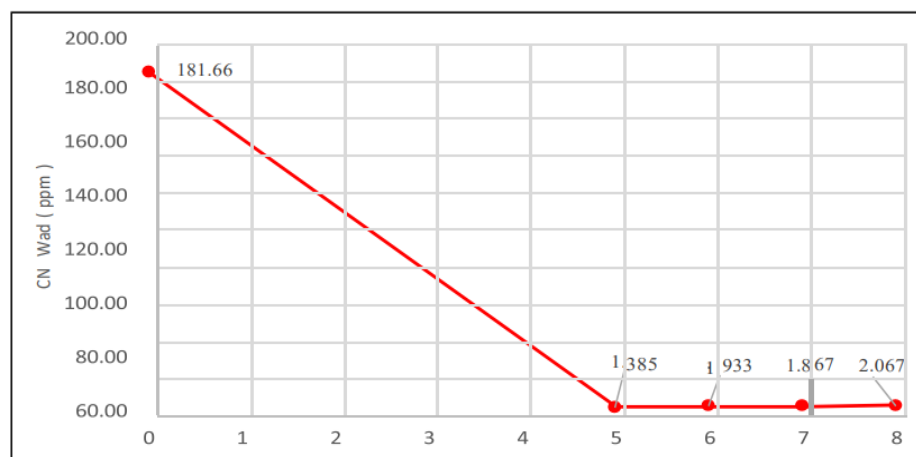


En la figura 13, se muestra el grado de detoxificación de CN_{total} en función de los ratios gr H₂O₂/ CN_{wad} y pH: 10.6. No se aprecia una diferencia significativa entre

las concentraciones finales de CN_{total} para las dosificaciones de ratios H_2O_2/CN_{wad} : 5-8. El grado de remoción promedio para CN_{total} fue 99%.

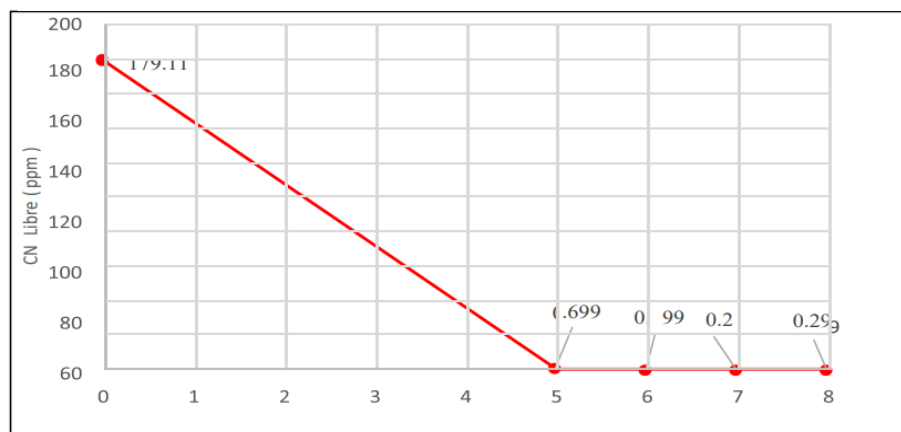
Los valores de concentraciones finales de CN_{total} varían de 1.967-2.017 ppm. Se observa presencia de partículas coloidales en la pulpa detoxificada.

Figura 14 Grado de detoxificación de CN_{wad} en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH:10.6.



En la figura 14, se muestra el grado de detoxificación de CN_{wad} en función de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH: 10.6. Los grados de remoción de CN_{wad} varían de 98.83% a 99.23%. Las concentraciones finales de CN_{wad} varían de 1.385-2.017 ppm.

Figura 15 Grado de detoxificación de CN_{libre} en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 5-8 y pH:10.6



En la figura 15, se muestra el grado de detoxificación de CN_{libre} en función de los ratios $gr\ H_2O_2/ CN_{wad}$: 5-8 y pH: 10.6. Los grados de remoción de CN_{libre} variando 99.60% a 99.88%. Las concentraciones finales de CN_{libre} varían de 0.299 ppm-0.699 ppm.

Se comprueba fehacientemente la capacidad oxidativa del peróxido de hidrógeno, sobre el CN_{libre} .

4.1.11. Pruebas de detoxificación con pH: 10.6, ratios H_2O_2/CN_{wad} : 6-7, tiempo Detox: 45 min

De las pruebas exploratorias realizadas con anterioridad, nos sugieren dosificar ratios H_2O_2/CN_{wad} : 6-7 para el proceso de detoxificación de soluciones cianuradas. Estas pruebas se realizaron con 45 minutos de agitación en Détox

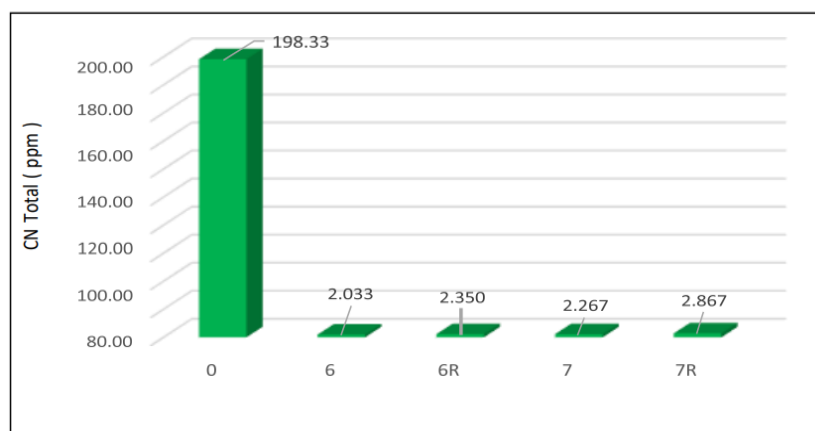
Tabla 20 Condiciones operativas en pruebas de detoxificación pH:10.6, 45 min.

Código de prueba	Ratio H_2O_2/ CN_{wad}	CN_{wad} (ppm)	Vol. Sol. (L)	Ph Inicial Solución Barren	Ph Prueba Detox	Conc. H_2O_2 (ppm)	Tiempo de Agit. (min)
PE-LM-22	6	180	2	11.51	10.6	1080	45
PE-LM-22R	6	180	2	11.51	10.6	1080	45
PE-LM-23	7	180	2	11.51	10.6	1260	45
PE-LM-23R	7	180	2	11.51	10.6	1260	45

Fuente: laboratorio metalúrgico

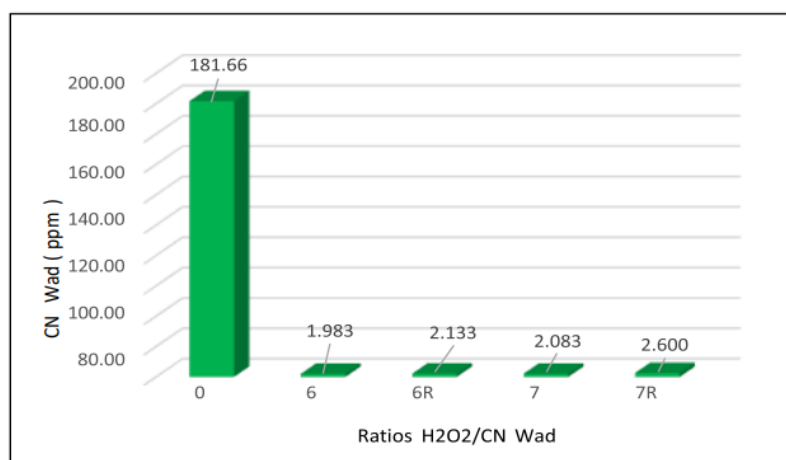
La tabla 20, muestra las condiciones operativas de las pruebas de detoxificación realizadas con un pH de solución: 10.6 y ratios H_2O_2/CN_{wad} : 6-7, 45 minutos de agitación en Détox. Similar a los casos anteriores, se utilizó una solución de ácido sulfúrico al 10% peso para lograr la disminución del pH de 11.5 a 10.6. Se realizó también una réplica para cada prueba.

Figura 16 Grado de detoxificación de CN_{total} en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 6-7, pH:10.6 y 45 min agitación Détox.



En la figura 16, se muestra el grado de detoxificación de CN_{total} en función de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 6-7, pH: 10.6, 45 minutos de agitación en Détox. Para un ratio gr H_2O_2/CN_{wad} : 6, las concentraciones de CN_{total} con la inclusión de la réplica fue 2.033 ppm y 2.350 ppm, respectivamente. Para un ratio gr H_2O_2/CN_{wad} : 7, las concentraciones de CN_{total} con la inclusión de la réplica fue 2.267 ppm y 2.867 ppm. Se comprueba que la disminución del tiempo de agitación en Détox (de 60 a 45 minutos), tiene un efecto negativo en la reducción de la concentración de CN_{total} .

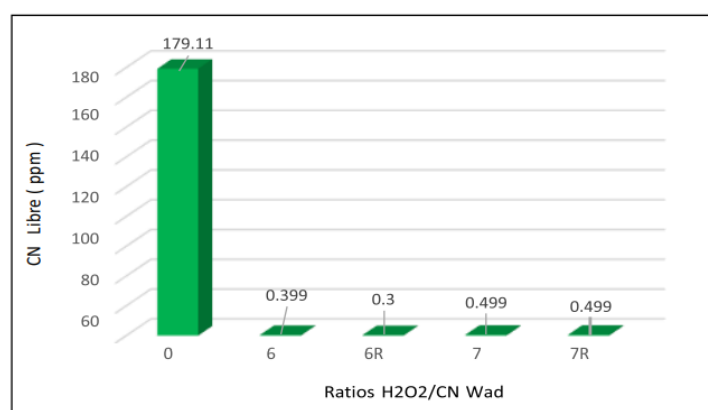
Figura 17 Grado de detoxificación de CN_{wad} en función de la variación de los ratios gr H_2O_2/CN_{wad} : 6-7, pH:10.6 y 45 min agitación Détox.



En la figura 17, se muestra el grado de detoxificación de CN_{wad} en función de los ratios $gr\ H_2O_2/ CN_{wad}$: 6-7, pH: 10.60 y 45 minutos de agitación en Détox. Para un ratio $gr\ H_2O_2/ CN_{wad}$: 6, las concentraciones de CN_{wad} con la inclusión de la réplica fue 1.983 ppm y 2.133 ppm, respectivamente. Para un ratio $gr\ H_2O_2/ CN_{wad}$: 7, las concentraciones de CN_{wad} con la inclusión de la réplica fue 2.083 ppm y 2.600 ppm. Se comprueba también que la disminución del tiempo de agitación en Détox (de 60 a 45 minutos), tiene un efecto adverso en la reducción de la concentración de CN_{wad} .

Figura 18 Grado de detoxificación de CN_{libre} en función de la variación de los ratios

$gr\ H_2O_2/ CN_{wad}$: 6-7, pH:10.6 y 45 min agitación Détox



En la figura 18, se muestra el grado de detoxificación de CN_{libre} en función de los ratios $gr\ H_2O_2/ CN_{wad}$: 6-7, pH: 10.6 y 45 minutos de agitación en Détox. Para un ratio $gr\ H_2O_2/ CN_{wad}$: 6 las concentraciones de CN_{libre} con la inclusión de la réplica fue 0.399 ppm y 0.300 ppm, respectivamente. Para un ratio $gr\ H_2O_2/ CN_{wad}$: 7 las concentraciones de CN_{libre} con la inclusión de la réplica fue 0.499 ppm y 0.499 ppm. Se comprueba también que la disminución del tiempo de agitación en Détox (de 60 a 45 minutos), tiene un efecto adverso en la reducción de la concentración de CN_{libre} .

4.1.12. Pruebas de detoxificación con pH: 10.6, ratios H₂O₂/CN Wad: 6-9, tiempo Détox: 90 min

Se realizaron pruebas de laboratorio para evaluar el efecto del pH de solución barren: 10.6 y la adición de ratios H₂O₂/CN_{wad}: 6-9 y 90 minutos de tiempo de agitación en Détox. A continuación, se presentan las condiciones operativas:

Tabla 21 Condiciones operativas en pruebas de detoxificación pH:10.6, ratios

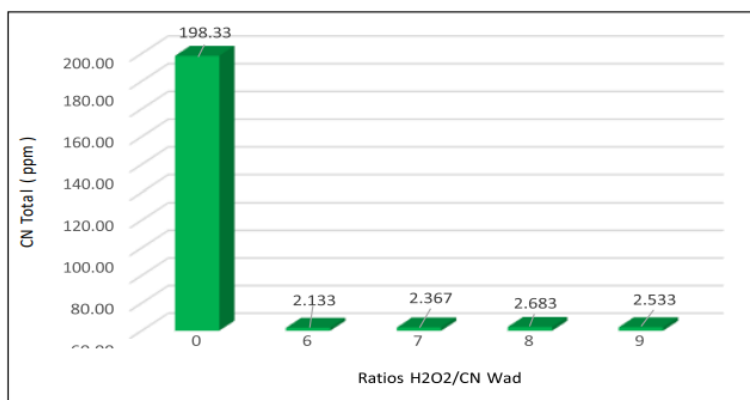
H₂O₂/CN_{wad}: 6-9 y 90 min tiempo agitación Détox.

Código de prueba	Ratio H ₂ O ₂ /CN _{wad}	CN _{wad} (ppm)	Vol. Sol. (L)	Ph Inicial Solución Barren	Ph Prueba Detox	Conc. H ₂ O ₂ (ppm)	Tiempo de Agit. (min)
PE-LM-27	6	180	2	11.4	10.6	1080	90
PE-LM-28	7	180	2	11.4	10.6	1260	90
PE-LM-29	8	180	2	11.4	10.6	1440	90
PE-LM-30	9	180	2	11.4	10.6	1620	90

Fuente: laboratorio metalúrgico

La tabla 21, muestra las condiciones operativas de las pruebas realizadas con un pH de solución: 10.6 y ratios H₂O₂/CN_{wad}: 6-9 y 90 minutos de agitación en Détox.

Figura 19 Grado de detoxificación de CN_{total} en función de la variación de los ratios gr H₂O₂/CN_{wad}: 6-9, pH:10.6 y 90 min agitación Détox.



En la figura 19, se muestra el grado de detoxificación de CN_{total} en función de los ratios gr H₂O₂/ CN_{wad}: 6-9, pH: 10.6 y 45 minutos de agitación en Détox. Para un ratio gr H₂O₂/CN_{wad}: 6, la concentración con la inclusión de la réplica fue 2.133 y 2.367 ppm de CN_{total}, para un ratio gr H₂O₂/CN_{wad}: 9, las concentraciones de CN_{total} fue 2.683 y 2.533 ppm. Se comprueba que a un tiempo de agitación en Détox (90min), no tiene efecto significativo.

4.1.13. Pruebas de acidificación de solución detoxificada

Para evaluar los ratios de consumo de ácido sulfúrico y dióxido de carbono, en el proceso de reducción de pH en la solución detoxificada. Se realizaron pruebas comparativas de acidificación variando para ello, el pH inicial de las soluciones.

Tabla 22 Variación de pH en acidificación con agua potable.

Tiempo (min)	pH1	pH2
0	6,9	6,92
2	10,06	9,73
4	9,58	9,02
6	9,56	8,93
8	9,43	8,67
10	9,31	8,39
12	8,28	7,51
14	7,68	7,43
16	7,56	7,38

Fuente: laboratorio metalúrgico

La tabla 22, muestra la variación de pH de las pruebas de acidificación con agua potable. Se incrementó el pH de las muestras de agua potable en valores de 9.73 y 10.06, con adición de solución de soda cáustica al 10% peso. Para la reducción paulatina del pH de las soluciones se utilizó una solución de ácido sulfúrico al 10% peso. Los valores de pH finales de las muestras de agua potable alcanzaron 7.56 y 7.38, respectivamente.

Tabla 23 Consumo de ácido sulfúrico en acidificación con agua potable.

Vol. Agua (L)	2
Sol. H₂SO₄ (%)	10
Consumo 1 H₂SO₄ (ml)	0,705
Consumo 2 H₂SO₄ (ml)	0,53
Densidad H₂SO₄ (g/ml)	1,038
Ratio 1 H₂SO₄ (g/m³)	36,59
Ratio 2 H₂SO₄ (g/m³)	27,51

Fuente: laboratorio metalurgico

La tabla 23, muestra los consumos de ácido sulfúrico para las 2 muestras de agua potable, con el objetivo de reducir paulatinamente el pH final. Los consumos de ácido sulfúrico equivalentes fueron: 36.59 gr/m³ y 27.51 gr/m³, respectivamente.

Se evidencian moderados consumos de ácido sulfúrico en las muestras de agua potable, probablemente por el bajo contenido de alcalinidad total.

Tabla 24 Pruebas de acidificación con solución detoxificada

Tiempo (min)	pH1	pH2
0	10,54	10,53
2	9,44	9,42
4	9,32	9,3
5	8,96	8,87
6	8,72	8,74
7	8,6	8,58
8	8,5	8,48
9	8,42	8,44
10	8,4	8,37

Fuente: laboratorio metalúrgico

La tabla 24 muestra los resultados de las pruebas de acidificación de solución detoxificada. El rango de pH inicial de ambas soluciones varía de 10.53 - 10.54. Se realizó el monitoreo del pH durante 10 minutos. Los valores finales de pH alcanzado

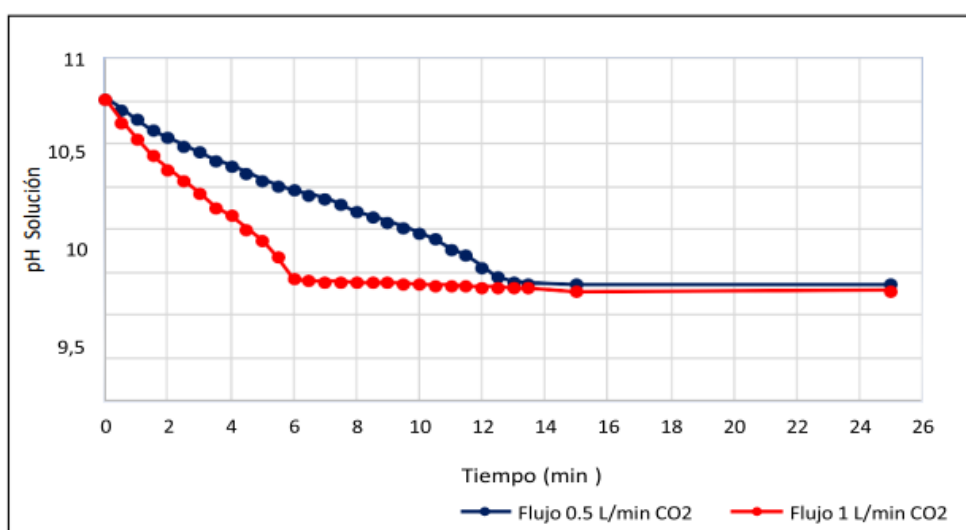
fueron: 8.40 y 8.37, respectivamente. Se utilizó una solución de ácido sulfúrico al 10% peso.

Tabla 25 Consumos de ácido sulfúrico para soluciones detoxificadas

Vol. Solución (L)	2
Sol. H₂SO₄ (%)	10
Consumo 1 H₂SO₄ (ml)	6
Consumo 2 H₂SO₄ (ml)	6
Densidad H₂SO₄ (g/ml)	1,038
Ratio 1 H₂SO₄ (g/m³)	311,40
Ratio 2 H₂SO₄ (g/m³)	311,40

La tabla 25, muestra los resultados de las pruebas de acidificación de soluciones detoxificadas usando ácido sulfúrico al 10% peso. Los consumos equivalentes de ácido sulfúrico para ambas pruebas fue 311.40 g/m³. El alto consumo de ácido sulfúrico probablemente se debe al alto contenido de alcalinidad total (concentración de carbonatos y bicarbonatos), y también a la conversión química del ión cianato en productos como amoníaco y carbonatos.

Figura 20 Acidificación de solución detoxificada con gas CO₂



La figura 20, muestra los resultados de las pruebas de acidificación de soluciones detoxificadas usando gas CO₂. Las muestras de soluciones detoxificadas tienen valores de pH iniciales de 10.53 y 10.54, respectivamente.

Tabla 26 Consumo final de gas CO₂ para soluciones detoxificadas.

Peso Inicial CO₂ (gr)	6890
Peso final CO₂ (gr)	6852
Diferencia Pesos CO₂ (gr)	38
Volumen Solución (L)	95
Consumo CO₂ (g/m³)	400

La tabla 26 muestra los resultados de las pruebas de acidificación de la solución detoxificada con inyección de CO₂. Estas pruebas se realizaron con un circuito optimizado, esto es, con recirculación de la solución detoxificada para evitar pérdidas de CO₂.

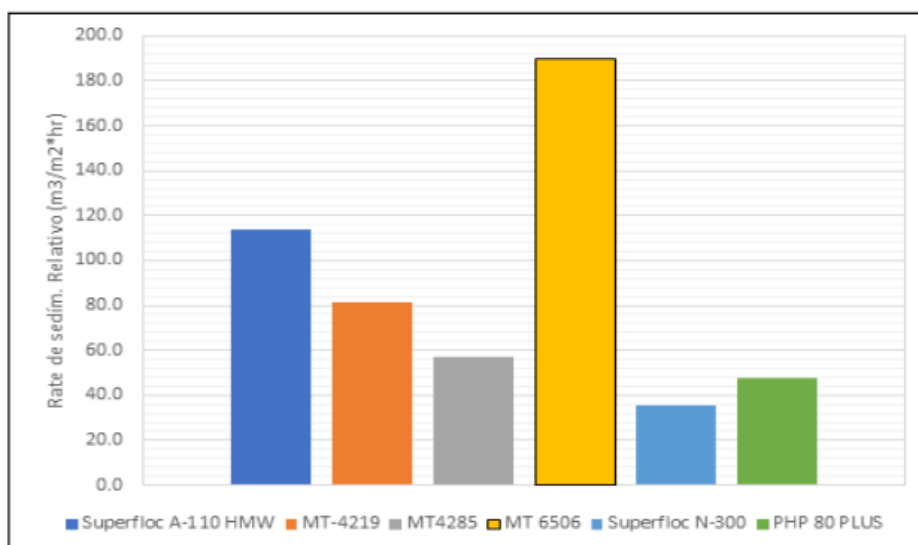
4.1.14. Selección y evaluación de floculantes

Las pruebas para la selección y dosificación de floculante fueron realizadas por el método de jarras. Las soluciones de floculantes fueron preparadas a una concentración inicial de 1000 ppm, la dosificación fue 1 ppm, empleándose pulpas de 1 litro de volumen. A continuación, se muestran los tipos de floculantes empleados:

Tabla 27 Tipos de floculantes empleados en las pruebas.

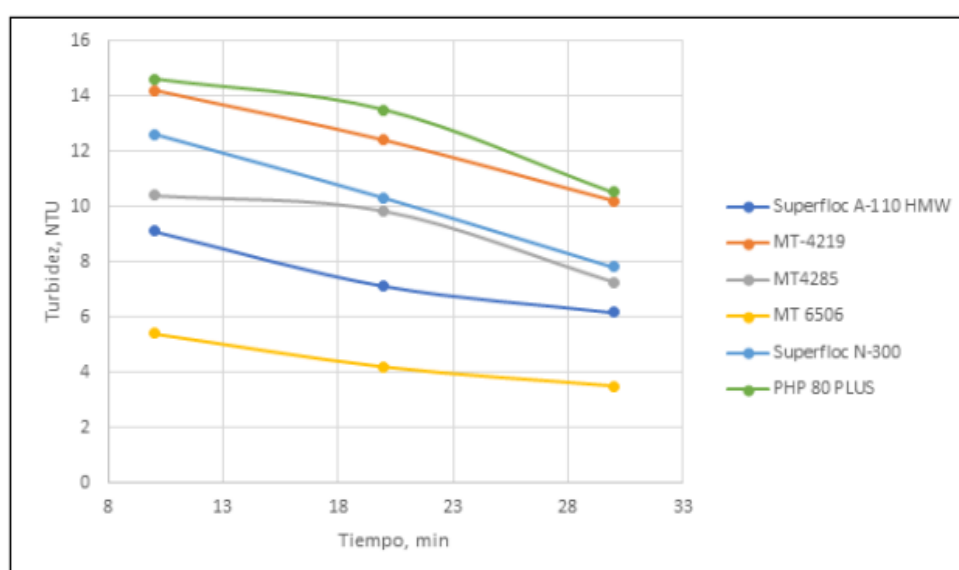
Descripción	Tipo de Floculante	Proveedor
Superfloc A-110	Aniónico	Kemira
MT-4219	Aniónico	Magnatrade Corp.
MT-4285	Aniónico	Magnatrade Corp.
MT-6506	No Iónico	Magnatrade Corp.
Superfloc N-300	No Iónico	Kemira
PHP 80 PLUS	No Iónico	Estec

Figura 21 Resultados de las pruebas de sedimentación.



La figura 21, muestra con nitidez que la adición de 1 ppm de floculante MT-6506, genera la mayor velocidad de sedimentación, esto es $189 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$. El competidor más cercano al floculante MT-6506, fue el Superfloc A-110, con una velocidad de sedimentación de $114 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$. Se verifica que el floculante no iónico MT-6506 es el que proporciona mejores condiciones para la separación sólido/líquido, de la pulpa detoxificada.

Figura 22 Variación de la turbidez en las pruebas de sedimentación.



La figura 22, muestra la variación de resultados de turbidez de las pruebas de sedimentación. Se aprecia que la adición de 1 ppm de floculante no iónico MT- 6506, proporciona los niveles más bajos de turbidez final, esto fue: 5.4 NTU, 4.2 NTU y 3.5 NTU, para los tiempos de 10 minutos, 20 minutos y 30 minutos, respectivamente.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Presentación de resultados

Se analizaron los datos obtenidos, se evaluó el mayor grado de remoción de cianuro y las interacciones de las variables independientes: Tiempo de residencia (minutos) y dosificación o ratio de H_2O_2/CN_{wad} .

Tabla 28 Resultados de las pruebas a nivel laboratorio.

		TIEMPO (min)	
		60	90
Ratio (H_2O_2/CN_{wad})	6	2.55	2.13
		2.30	2.37
	8	2.58	2.37
		2.33	2.23
	9	2.62	2.68
		2.53	2.38
	10	2.57	2.53
		2.63	2.57

En los resultados de las pruebas se aprecia que en los tiempos (60 y 90 minutos) no se logró el objetivo final ($CN_{total} < 1.00$ ppm).

Sin embargo, se logró más del 98% de remoción en cianuro total, y más del 99% en cianuro wad y libre respectivamente.

La evaluación de los efectos principales e interacciones para los dos factores tomarán como referencia la media del cianuro total de las 16 corridas.

A continuación, se presenta el diseño factorial completo:

Resumen del diseño

Tabla 29 Diseño factorial

Factores:	2	Replicas:	2
Corridas:	8	Total, de corridas	16
Bloques:	1	Puntos centrales (total):	0
Nro. de niveles	2;4		

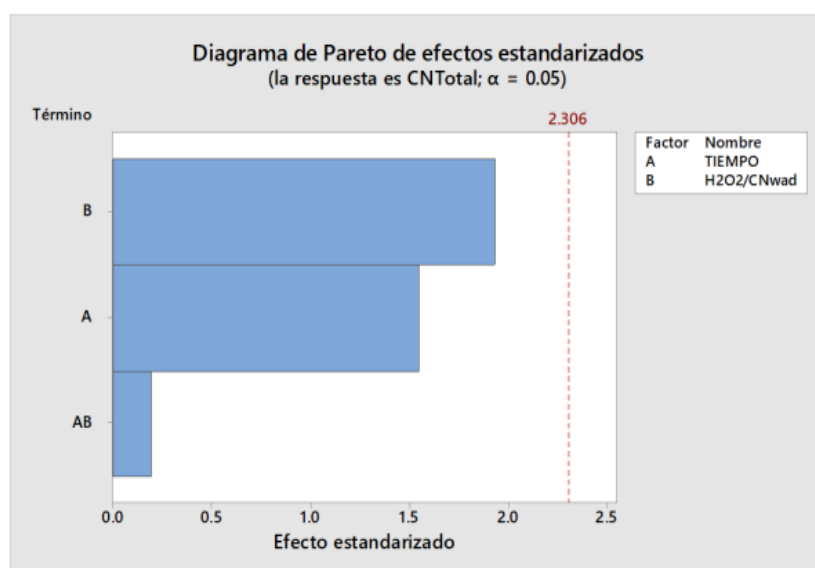
Tabla 30 Análisis de varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	0.23434	0.033477	1.78	0.217
Lineal	4	0.21964	0.05491	2.93	0.092
TIEMPO	1	0.04516	0.045156	2.41	0.159
H2O2/CNwad	3	0.17448	0.058161	3.1	0.089
Interacciones de 2 términos	3	0.0147	0.004899	0.26	0.852
TIEMPO*H2O2/CNwad	3	0.0147	0.004899	0.26	0.852
Error	8	0.15014	0.018767		
Total	15	0.38448			

Según el análisis de varianza ambos factores presentan el valor de “P” mayor a 0.05 (alfa), lo cual indica que ninguno de los factores tiene efecto significativo para el objetivo analizado.

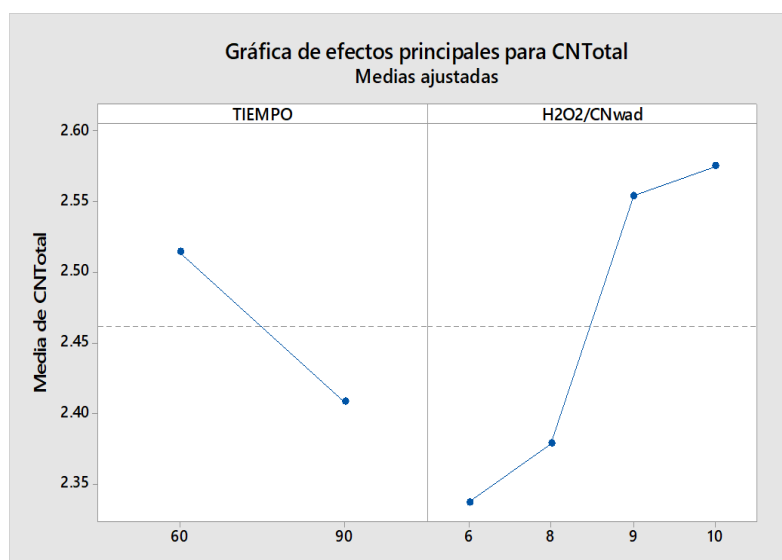
El factor H2O2/CNwad presenta un valor de 0.089, cercano a 0.05 (alfa), por lo que podría considerarse más significativo que el factor tiempo.

Figura 23 Diagrama de Pareto – Diseño experimental



El diagrama de Pareto nos indica que los efectos que se extienden más allá del 2.306 son significativos para la remoción del cianuro total. En este caso, ninguno de los factores es significativo, el factor de la dosificación de reactivo H2O2/CNwad es más significativo que el factor tiempo por estar más cercano al valor 2.306.

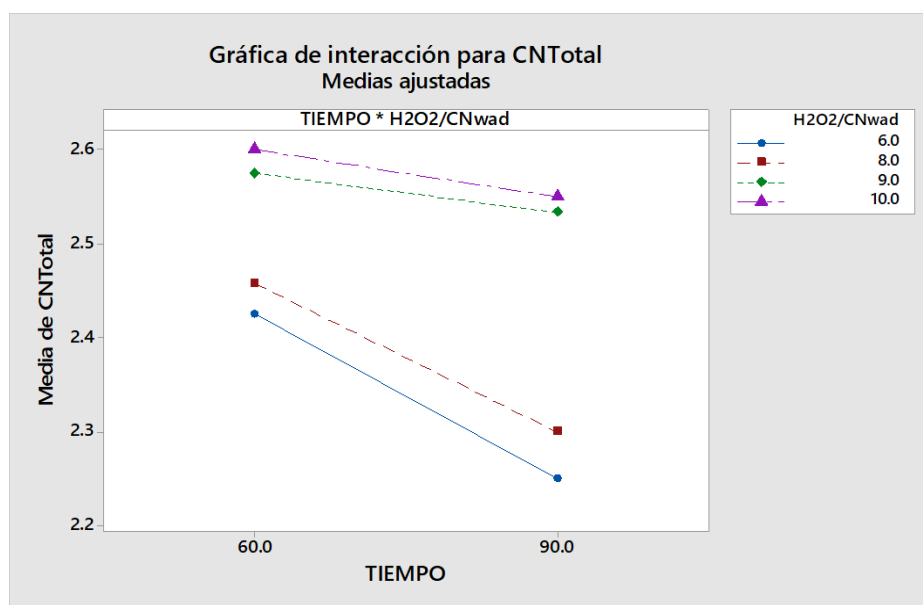
Figura 24 Efectos principales – Diseño experimental.



En la figura 24, la línea central horizontal muestra la media en cianuro total luego de las 16 corridas. El panel izquierdo de la gráfica indica que, con el tiempo de 60 minutos el resultado es mayor que el cianuro total de la media, mientras que con 90

minutos sucede lo contrario. El panel derecho de la gráfica indica que, con ratios de H₂O₂/CN_{wad} entre 6 a 8, son suficientes para lograr resultados de cianuro total debajo de la media, al incrementar el ratio de H₂O₂ entre 9 y 10 el resultado del cianuro total será mayor a la media.

Figura 25 Interacción tiempo de residencia Vs Ratio H₂O₂/CN_{wad}.



Las líneas paralelas indican que NO existe interacción entre los dos factores (tiempo de residencia y H₂O₂/CN_{wad}).

La figura de interacción indica que para un tiempo de 60 minutos y con ratios de H₂O₂/CN_{wad} entre 6 y 8 los resultados de cianuro total son cercanos a la media; Sin embargo, para ratios entre 9 y 10 los resultados son mayores a la media. Cuando se usa 90 minutos como tiempo de residencia en el proceso détox y con dosificaciones del reactivo H₂O₂ con ratios entre 6 y 8 los resultados de cianuro total son menores al cianuro total promedio (CN_{total}: 2.46 ppm).

4.2.2. Análisis e interpretación de resultados

El análisis ha determinado que, cuando se usa 90 minutos como tiempo de residencia para la remoción del cianuro total, los resultados de remoción de cianuro

total son favorecidos, sin embargo, no cumplen con el objetivo de lograr CN_{total} <1.00 ppm.

Así mismo, con 90 minutos solo se gana 0.2 ppm en la remoción de CN_{total}, comparado con el tiempo de 60 minutos. Por tanto, para las futuras pruebas de detoxificación de cianuro se ha considerado 60 minutos (tiempo de residencia) y ratio H₂O₂/CN_{wad} con valor de 7, respectivamente.

Se ha investigado con respecto a los factores que inciden en el incremento de concentración final de cianuro total, en las pruebas realizadas.

4.2.3. Concentración de cobalto en la solución barren

El cobalto, presente en los complejos cianurados, presenta un valor muy alto de constante de equilibrio, por lo cual lo convierte en una especie química extremadamente estable, en soluciones alcalinas. No se tiene evidencia científica comprobada, de algún tipo de oxidante y/o agente químico utilizado para la oxidación química del cobalto, como complejo cianurado.

Tabla 31 Constantes de equilibrio químico en complejos cianurados

Reacción Química	Valor Ke
$\text{Co}^{+3} + 6\text{CN}^- = \text{Co}(\text{CN})_6^{-3}$	10^{64}
$\text{Fe}^{+3} + 6\text{CN}^- = \text{Fe}(\text{CN})_6^{-3}$	10^{42}
$\text{Au}^{+1} + 2\text{CN}^- = \text{Au}(\text{CN})_2^-$	10^{37}
$\text{Ni}^{+2} + 4\text{CN}^- = \text{Ni}(\text{CN})_4^{-2}$	$10^{31.80}$
$\text{Cu}^{+1} + 4\text{CN}^- = \text{Cu}(\text{CN})_4^{-3}$	$10^{30.30}$
$\text{Cu}^{+1} + 3\text{CN}^- = \text{Cu}(\text{CN})_3^{-2}$	$10^{23.50}$
$\text{Cu}^{+1} + 2\text{CN}^- = \text{Cu}(\text{CN})_2^-$	$10^{18.80}$
$\text{Ag}^{+1} + 2\text{CN}^- = \text{Ag}(\text{CN})_2^-$	10^{18}

La tabla 31 presenta las constantes de equilibrio en complejos cianurados. Se evidencia que el complejo cianuro de cobalto tiene un valor de 10^{64} , y el ferricianuro

tiene un valor de 10^{42} . Ambas especies, pertenecen a la clase de complejos cianurados de tipo fuertes.

Tabla 32 Aporte de cianuro por efecto del cobalto

Con. Co^{+3}	Solución Barren (ppm)	Aporte de CN (ppm)
	0,1	0,2647
	0,12	0,3177
	0,13	0,3441
	0,14	0,3706
	0,15	0,3971
	0,16	0,4236
	0,18	0,4765
	0,2	0,5294

La tabla 32, muestra la variación del aporte de cianuro, por efecto de la concentración de cobalto. Si la concentración de cobalto en la solución barre es 0.20 ppm, el aporte de CN equivalente es 0.53 ppm.

Por lo tanto, al no ser posible la oxidación química del cobalto, en soluciones cianuradas, entonces el cobalto aportará 0.53 ppm en el ensayo final de CN_{total} .

4.2.4. Concentración de hierro en la solución barren

Los iones férricos y ferrosos, en presencia de soluciones cianuradas, forman ferricianuros y ferrocianuros respectivamente. Estos complejos cianurados, poseen también un alto valor de constante de equilibrio ($K_e = 10^{42}$), por lo tanto, son complejos catalogados como fuertes, y estables en soluciones alcalinas.

Se puede concluir también, que la oxidación química de los ferrocianuros será parcial, en consecuencia, estos complejos también aportan cianuro al ensayo químico de CN_{total} en soluciones detoxificadas.

Tabla 33 Aporte de cianuro por efecto del hierro

Con. Fe⁺³ Solución Barren (ppm)	Aporte de CN (ppm)
0,1	0,2794
0,12	0,3352
0,13	0,3632
0,14	0,3911
0,15	0,4191
0,16	0,4470
0,18	0,5029
0,2	0,5587

La tabla 33, muestra la variación del aporte de cianuro, por efecto de la concentración del ión ferroso. Si la concentración del ión ferroso en la solución barren es 0.20 ppm, el aporte de CN equivalente es 0.56 ppm.

Entonces, en un contexto operativo en particular, si no es posible la oxidación química del cobalto y no se logra la precipitación de los complejos de ferrocianuros, entonces el aporte total de cianuro para el ensayo químico de CN_{total} es 1.09 ppm.

Se demuestra que las concentraciones de cianuro de cobalto y complejo ferrocianuro limitan poder alcanzar una concentración final menor de 1 ppm CN_{total} en la pulpa detoxificada.

4.2.5. Concentración de tiocianato en la solución barren

El tiocianato (SCN⁻) presente en las soluciones cianuradas también pertenece a la clase de complejos cianurados de tipo fuertes, esto significa que es estable en soluciones alcalinas.

La literatura técnica, indica que el ión tiocianato, no sufre oxidación química por efecto de la adición de soluciones de peróxido de hidrógeno en el proceso Détox. Soluciones que contienen hipoclorito de sodio, si pueden oxidar al ión tiocianato.

Tabla 34 Aporte de cianuro por efecto del tiocianato

Con. SCN^-	Solución Barren (ppm)	Aporte de CN (ppm)
	0,5	0,160
	1	0,321
	2	0,642
	3	0,963
	4	1,284
	5	1,605
	6	1,926
	8,6	2,760

La Tabla 34, muestra la variación del aporte de cianuro, por efecto de la concentración del ión tiocianato. La solución barren de planta ADR (IBC: 1000 litros), presentó una concentración de 8.6 ppm de tiocianato, entonces el aporte equivalente es 2.76 ppm de CN_{total}.

4.3. Prueba de hipótesis

H_0 : **No Existe** suficiente evidencia estadística para el tratamiento de detoxificación de efluentes cianuradas para el cumplimiento de la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.

H_a : **Existe** suficiente evidencia estadística para el tratamiento de detoxificación de efluentes cianuradas para el cumplimiento de la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.

Existe suficiente evidencia estadística para afirmar que las variables de estudio como es la dosificación y el tiempo cumplieron los ppm de cianuro establecidos en el ECA tipo III. Lo cual es reflejado según el análisis de varianza ambos factores presentan el valor de “P” mayor a 0.05 (alfa) o valor de significancia, lo cual indica que los factores tienen efecto significativo para el objetivo analizado.

Se rechaza la hipótesis nula si: el valor de P es mayor que el nivel de significancia:

$P > 0.05$ dado que el valor de P = para ambos factores es igual:

Valor de “P” para el factor tiempo = 0.159

Valor de “P” para el factor de H_2O_2 = 0.089

Ambos son superiores a 0.05 (valor de significancia) por ende se rechaza la hipótesis nula y **se acepta la hipótesis alterna.**

4.4. Discusión de resultados

Los hallazgos de este estudio serán analizados en detalle, considerando los puntos de vista que presentan relación con los objetivos planteados, serán realizados en contraste a los antecedentes:

El objetivo general fue realizar la detoxificación de efluente cianurado de la planta Las Lomas para discutir este objetivo se citó la tesis de (AroniI Lozada & Morales Roca, 2023) donde sus “Condiciones óptimas para la detoxificación de efluentes” obtuvo un porcentaje de reducción de cianuro libre de 99.84% y valor final de cianuro libre de 0.020 ppm, cumpliendo los estándares de la normativa del ECA 4 del DS 002-2008 MINAM, en la presente tesis se presentó una remoción de CN_{wad} : 99.6% y CN_{libre} : 99.8% pero a diferencia el valor final fue de CN_{libre} : 0.17ppm, el cual a diferencia de la tesis citada no se logró cumplir con el cumplimiento de la normativa del ECA 4 del DS 002-2008 MINAM.

Para discutir el objetivo de determinar el efecto de los reactivos para lograr la detoxificación de efluentes cianurados teniendo como indicador la remoción de cianuro en la tesis de (Gutierrez Pascual, 2021) en su tesis “Implementación del método de destrucción de cianuro con oxidación avanzada en el tratamiento de efluentes de la planta minera IRLSA - Unidad Corihuarmi” para la destrucción de cianuro libre utilizo

y dosifico peróxido de hidrogeno y manteniendo la dosificación de sulfato de cobre pentahidratado así como el pH, obteniendo una máxima remoción de 92% a un pH 11.6, 10 ml de peróxido de hidrogeno y 4 ml sulfato de cobre pentahidratado, en esta investigación se logró una remoción de CN_{total} : 99.2%, el cual presenta un margen superior y los reactivos utilizados y dosificados fueron 393 ppm de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ con un tiempo contactode 5 minutos, Détox 1: ratio 4 con un tiempo de contacto de 30 minutos, Détox 2: ratio 3 con un tiempo de contacto de 30 minutos, 350 ppm de $Fe_2(SO_4)_3$ con un tiempo de contacto de 30 minutos, 50 ppm de NaSH con un tiempo de contacto de 30 minutos y 1 - 2 ppm de floculante MT-6506.

Para la discusión de la concentración inicial de cianuro total y su remoción citaremos a (Ibarra Condori, 2021) , en su tesis “ Evaluación cinética de los reactivos en el tratamiento de los efluentes de cianuración” la solución barren presentó un CN total de 217.51 ppm para lo cual se realizó la prueba en el laboratorio metalúrgico dosificando peróxido de hidrogeno con sulfato de cobre de 2.25 Kg H_2O_2/m^3 y 0.019 Kg $CuSO_4/m^3$, el cual no cumplió la normativa vigente de LMP de 1 mg/L, ya que el ácido hipoclorito de calcio presentó un 0.92 ppm de contenido de CN total; siendo el ratio de peróxido, el factor dominante para obtener valores mínimos de cianuro, entonces en la tesis para lograr su cometido realizó una detoxificación con adición de hipoclorito de sodio, este le permitió llegar a un valor de 0.97 el cual esta debajo de la normativa. En la presente tesis la dosificación de nuestro reactivo para la remoción de cianuro fue el peróxido, para lo cual como se mencionó anteriormente, se adiciono una ratio H_2O_2/CN_{wad} : 7, en adiciones fraccionadas (Détox 1: ratio 4 y Détox 2: ratio 3), pH solución: 10.2-10.6 y 60 minutos de agitación, permite lograr remociones de CN_{total} : 99.2%.

CONCLUSIONES

- Al materializar los objetivos del presente trabajo los resultados obtenidos permite mejorar la calidad ambiental (agua, aire y suelo), además evita el riesgo ambiental, a la salud humana, en el área de estudio y su entorno; además la empresa trabaja aplicando tecnología limpia y cumpliendo las normas de (ECA) para estos tipos de trabajos relacionados a la obtención del oro de mejor calidad y libre de residuos tóxicos con cianuro, esto favorece a la empresa para tener beneficios económicos considerables.
- Las concentraciones iniciales de CN_{total} , CN_{wad} , CN_{libre} y tiocianato en la cabeza general de la solución barren inicial son: 198.33 ppm, 181.66 ppm, 179.11 ppm, 8.60 ppm. Una adición de ratio H_2O_2/CN_{wad} : 7, en adiciones fraccionadas (Détox 1: ratio 4 y Détox 2: ratio 3), pH solución: 10.2-10.6 y 60 minutos de agitación, permite lograr remociones de CN_{total} : 99.2%, CN_{wad} : 99.6% y CN_{libre} : 99.8%. Los valores de parámetros de la solución final detoxificada y acidificada fueron: pH:8.7, Aceites y Grasas < 0.5 ppm, CN_{total} : 1.587 ppm, CN_{wad} : 0.223 ppm, CN_{libre} : 0.17ppm, As(t): 0.183 ppm, Cd(t): < 0.001 ppm, Cr VI(t): < 0.01 ppm, Cu(t): 0.588 ppm, Fe(d): 0.45 ppm, Pb(t): < 0.01 ppm, Hg(t): 0.0014 ppm, Zn(t): 0.016 ppm.
- Las condiciones operacionales para lograr los valores de la solución final detoxificada y acidificada son: 393 ppm de $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ con un tiempo contacto de 5 minutos, Détox 1: ratio 4 con un tiempo de contacto de 30 minutos, Détox 2: ratio 3 con un tiempo de contacto de 30 minutos, 350 ppm de $Fe_2(SO_4)_3$ con un tiempo de contacto de 30 minutos, 50 ppm de NaSH con un tiempo de contacto de 30 minutos y 1-2 ppm de floculante MT-6506 y el consumo de gas CO_2 para reducir el pH de la solución de rebose de 10.90 a 8.37 fue 400 gr /m³.

RECOMENDACIONES

- Sugerimos a la empresa aplicar este estudio para comprobar su factibilidad y también a los estudiantes considerar como antecedente para estudios de investigación similares en lo referente al oro.
- Realizar pruebas de detoxificación con ácido caro para una mejor remoción de contaminantes por su mayor propiedad de oxidación de complejos cianurados.
- Trabajar con soluciones cianuradas de menor concentración de complejos cianurados de cobalto, fierro y tiocianatos para cumplir la normativa ambiental la cual se propone.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo Calderon, G. J. (2024). Pourbaix en Oro. <https://es.scribd.com/presentation/492305578/Pourbaix-en-oro?hl=es-ES>
- Aguirre, F., Amaya, G., Torres, F., & Marchevsky, N. (S. F.). Procesos De Destrucción De Complejos Cianurados. 2024, 8.
- Arias, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica. Caracas - Republica Bolivariana de Venezuela: Episteme, C.A.
- AroniI Lozada, K. M., & Morales Roca, Y. S. (2023). Condiciones óptimas para la detoxificación de efluentes mineros cianurados. Callao, Perú: Repositorio de la Universidad Nacional del Callao.
- Enfermedades, A. p. (2006). RESUMEN DE SALUD PÚBLICA Cianuro. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1 - 2.
- Gutierrez Pascual, C. J. (2021). Implentación del método de destrucción de cianuro con oxidación avanzada en el tratamiento de efluentes de la planta minera IRLSA - Unidad Corihuarmi. Huancayo - Perú: Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Hernandes Sampieri, R., Fernandez Collado , C., & Baptista Lucio, P. (1997). METODOLOGÍA DELA INVESTIGACIÓN. Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- Ibarra Condori, C. E. (2021). Evaluación cinetica de los reactivos en el tratamiento de los efluentes de cianuración. Arequipa - Perú: Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustin de Arequipa.
- N.Kerlinger , F. (1975). Investigación del comportamiento: técnicas y metodología. Mexico: Nueva Editorial Interamericana.

Peñuelas, M. A. (2010). MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN. Mexico: D.R. Universidad
Autonoma de Sinalga.

Pérez Dominguez, J. C., & Higuera Cobos, Ò. F. (2008). Comportamiento electroquímico del
cianuro. En SCIELO.
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-
34612008000200006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-34612008000200006)

Tamayo y Tamayo, M. (2000). El proceso de la investigación científica. Mexico: Limusa.

ANEXOS

GUÍA DE OBSERVACIONES

Detoxificación de efluentes cianurados para cumplir la Categoría III del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una Planta ADR, Áncash – 2023

1. DATOS GENERALES

Fecha:	15 de noviembre de 2023	Hora:	10:00 a.m.
Investigador:	Ednilson Fray Cristóbal Villena	Responsable:	GHANDY JHANDERY DIAZ QUINCHO
Lugar:	Planta ADR – Las Lomas de Casma, Áncash	Ensayo N.º:	DETOX-01-2023
Muestra:	Efluente cianurado	Tipo de observación:	Proceso de detoxificación

2. GUÍA DE OBSERVACIÓN

N.º	ASPECTO A OBSERVAR	OBSERVACIÓN REALIZADA	CONDICIÓN		COMENTARIOS / EVIDENCIAS
			CUMPLE	NO CUMPLE	
1	Condiciones iniciales del efluente	Efluente de color verdoso, olor característico, sin sólidos en suspensión visibles.	✓		Condiciones normales de operación. Muestra tomada en el punto de descarga.
2	Medición de pH inicial	pH inicial medido con peachímetro calibrado. Valor registrado: 10.3	✓		Equipo calibrado con soluciones buffer pH 7.00 y 10.00.
3	Dosificación de Peróxido de Hidrógeno (H ₂ O ₂)	Se dosificó peróxido de hidrógeno al 50 %. Concentración aplicada: 1 386 ppm.	✓		Dosificación mediante bomba dosificadora.
4	Adición de Sulfato de Cobre (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	Se añadió sulfato de cobre pentahidratado como catalizador. Concentración aplicada: 393 ppm.	✓		Disuelto previamente en agua para mejor dispersión.
5	Adición de Soda Cáustica (NaOH)	Se ajustó el pH con soda cáustica al 10.2 – 10.6. Concentración aplicada: 1 500 ppm.	✓		Adición controlada para evitar sobreajuste de pH.
6	Tiempo de residencia	Se mantuvo el efluente en reacción durante 95 minutos.	✓		Tiempo total de residencia: 95 min (5 + 30 + 30 + 30).
7	Monitoreo de pH durante el tratamiento	pH final registrado: 10.5 Se mantuvo dentro del rango establecido.	✓		Monitoreo cada 15 minutos. pH estable durante el proceso.
8	Análisis de Cianuro Libre (CN Libre)	CN Libre inicial: 170.93 ppm CN Libre final: 0.17 ppm	✓		Análisis realizado con método colorimétrico.
9	Análisis de Cianuro WAD	CN WAD inicial: 173.33 ppm CN WAD final: 0.69 ppm	✓		Análisis realizado con método colorimétrico.
10	Porcentaje de remoción de cianuro	Remoción de CN (WAD): 99.6 %	✓		Remoción superior al 99 %.
11	Cumplimiento del ECA Categoría III (D1 y D2)	El efluente cumple con los límites máximos permisibles para D1 (riego de vegetales) y D2 (bebida de animales).	✓		CN WAD final: 0.69 ppm (< 1.0 ppm para D1 y D2).
12	Registro de datos y observaciones	Se registraron todos los datos y condiciones del ensayo.	✓		Registro completo y legible. Evidenciado en el cuaderno de campo.

3. OBSERVACIONES GENERALES

Durante el ensayo de detoxificación del efluente cianurado se cumplieron todas las condiciones operativas establecidas. La dosificación de reactivos, el control de pH y el tiempo de residencia permitieron una alta eficiencia de remoción de cianuro, obteniendo un efluente que cumple con el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) Categoría III para D1 y D2. No se presentaron anomalías ni interrupciones durante el proceso.

4. CONDICIÓN GENERAL DEL ENSAYO

- ☒ Cumple con lo establecido
☐ Cumple con observaciones
☐ No cumple

5. CONCLUSIÓN

El proceso de detoxificación del efluente cianurado fue efectivo, logrando una remoción del 99.6 % de cianuro (CN WAD), cumpliendo con los límites máximos permisibles del ECA Categoría III (D1 y D2). Las condiciones operativas fueron las adecuadas para alcanzar los resultados obtenidos.

6. RECOMENDACIONES

- Mantener el control estricto del pH dentro del rango 10.2 – 10.6.
- Verificar periódicamente la calibración de los equipos de medición.
- Continuar con el monitoreo de cianuro en forma regular para asegurar el cumplimiento del ECA.
- Registrar cada ensayo en el cuaderno de campo y conservar evidencias.

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Título del estudio: Detoxificación de efluentes cianurados para cumplir la Categoría III del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una Planta ADR.

1. DATOS GENERALES

Fecha:	15 de mayo de 2023	Responsable:	Ednilson Fray Cristóbal Villena
Hora:	10:00 a.m.	Lugar:	Planta ADR – Las Lomas de Casma, Áncash
Ensayo N.º:	DETOX-01-2023	Muestra:	Efluente cianurado

2. REGISTRO EXPERIMENTAL

N.º	INDICADOR	UNIDAD	REGISTRO
1	Dosificación de Peróxido de Hidrógeno (H ₂ O ₂)	ppm	1 386 ppm
2	Dosificación de Sulfato de Cobre (CuSO ₄ ·5H ₂ O)	ppm	393 ppm
3	Dosificación de Soda Cáustica (NaOH)	ppm	1 500 ppm
4	Tiempo de residencia	min	95 minutos (5 + 30 + 30 + 30)
5	pH inicial	-	10.3
6	pH final	-	10.5
7	CN Libre inicial	ppm	170.93 ppm
8	CN Libre final	ppm	0.17 ppm
9	CN WAD inicial	ppm	173.33 ppm
10	CN WAD final	ppm	0.69 ppm
11	% Remoción de CN	%	99.6 %
12	Cumple ECA Categoría III (D1 riego de vegetales / D2 bebida de animales)	-	Sí (X) No ()

3. OBSERVACIONES

Se realizó la detoxificación del efluente cianurado mediante la adición de peróxido de hidrógeno como agente oxidante y sulfato de cobre pentahidratado como catalizador, a pH 10.2 – 10.6 y con un tiempo total de residencia de 95 minutos. Se obtuvo una remoción de CN WAD del 99.6 %, cumpliendo con los límites establecidos en el ECA Categoría III (D1 y D2). Las condiciones óptimas permitieron alcanzar concentraciones finales por debajo de los límites máximos permisibles.

4. FÓRMULA DE CÁLCULO

% Remoción de Cianuro

$$\%R = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 100$$

Donde:

C_o : Concentración inicial de cianuro (ppm)

C_f : Concentración final de cianuro (ppm)

%R : Porcentaje de remoción de cianuro (%)

Nota: Comparar los resultados finales con los valores establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM (ECA Categoría III: D1 riego de vegetales / D2 bebida de animales).

GUÍA DE CAMPO

INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Título del estudio: Detoxificación de efluentes cianurados para cumplir la Categoría III del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una Planta ADR, Áncash – 2023.

1. DATOS GENERALES

Fecha:	15 de noviembre de 2023	Investigador:	Ednilson Fray Cristóbal Villena
Hora:	10:00 a.m.	Lugar:	Planta ADR – Las Lomas de Casma, Áncash
Ensayo N.º:	DETOX-01-2023	Muestra:	Efluente cianurado
Responsable del registro: GHANDY JHANDERY DIAZ QUINCHO			

2. GUÍA DE OBSERVACIÓN DE CAMPO

N.º	Aspecto a observar	Sí	No	Observaciones
1	El efluente proviene de la Planta ADR.	☒	☐	Efluente proveniente de la Planta ADR – Las Lomas de Casma.
2	Se registró el pH inicial del efluente.	☒	☐	pH inicial medido con peachímetro calibrado.
3	Se dosificó correctamente el Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2).	☒	☐	Dosificación: 1 386 ppm.
4	Se adicionó Sulfato de Cobre ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) como catalizador.	☒	☐	Dosificación: 393 ppm.
5	Se agregó Soda Cáustica (NaOH) para controlar el pH.	☒	☐	Dosificación: 1 500 ppm.
6	Se cumplió el tiempo de residencia establecido (95 min).	☒	☐	Tiempo total de residencia: 95 minutos (5 + 30 + 30 + 30).
7	Se monitoreó el pH durante el tratamiento.	☒	☐	pH final: 10.5.
8	Se realizó el análisis de Cianuro Libre inicial y final.	☒	☐	Inicial: 170.93 ppm Final: 0.17 ppm
9	Se realizó el análisis de Cianuro WAD inicial y final.	☒	☐	Inicial: 173.33 ppm Final: 0.69 ppm
10	El porcentaje de remoción de cianuro fue superior al 99 %.	☒	☐	% Remoción de CN: 99.6 %
11	El efluente cumple con el ECA Categoría III (D1 y D2).	☒	☐	Cumple con los límites establecidos en el ECA Categoría III para D1 y D2.
12	Se registraron todas las observaciones del ensayo.	☒	☐	Registro completo de datos y observaciones.

3. PARÁMETROS REGISTRADOS

Parámetro	Unidad	Resultado
Peróxido de Hidrógeno (H_2O_2)	ppm	1 386 ppm
Sulfato de Cobre ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)	ppm	393 ppm
Soda Cáustica (NaOH)	ppm	1 500 ppm
Tiempo de residencia	min	95 minutos (5 + 30 + 30 + 30)
pH inicial	-	10.3
pH final	-	10.5
CN Libre inicial	ppm	170.93 ppm
CN Libre final	ppm	0.17 ppm
CN WAD inicial	ppm	173.33 ppm
CN WAD final	ppm	0.69 ppm
% Remoción de CN	%	99.6 %
Cumple ECA Categoría III (D1 y D2)	-	Sí

4. OBSERVACIONES DE CAMPO

Se realizó la detoxificación del efluente cianurado mediante la adición de peróxido de hidrógeno como agente oxidante y sulfato de cobre pentahidratado como catalizador, ajustando el pH con soda cáustica a un rango de 10.2 – 10.6 y con un tiempo total de residencia de 95 minutos.

Se obtuvo una remoción de cianuro (CN WAD) del 99.6 %, cumpliendo con los límites máximos permisibles establecidos en el ECA Categoría III (D1 riego de vegetales / D2 bebida de animales).

Las condiciones operativas evaluadas permitieron alcanzar concentraciones finales por debajo de los límites establecidos por la normativa vigente.

5. CONCLUSIÓN DEL ENSAYO

- ☒ Cumple con el ECA Categoría III (D1 y D2).
☐ No cumple con el ECA Categoría III (D1 y D2).

Responsable: GHANDY JHANDERY DIAZ QUINCHO

Nota: Los resultados deben ser comparados con los límites establecidos en el D.S. N° 004-2017-MINAM (ECA Categoría III: D1 riego de vegetales / D2 bebida de animales).

ESCALA DE LIKERT

Objetivo: Evaluar el grado de acuerdo respecto al proceso de detoxificación de efluentes cianurados con peróxido de hidrógeno y sulfato de cobre para cumplir la Categoría III del Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR.

Instrucciones: Lea cuidadosamente cada afirmación y marque con una "X" la opción que mejor represente su grado de acuerdo.

N.º	AFIRMACIÓN	GRADO DE ACUERDO				
		Totalmente en desacuerdo (1)	En desacuerdo (2)	Neutral (3)	De acuerdo (4)	Totalmente de acuerdo (5)
1	El proceso de detoxificación con peróxido de hidrógeno reduce eficientemente la concentración de cianuro en los efluentes.	☐	☐	☐	☐	☒
2	El sulfato de cobre (como catalizador) mejora la eficiencia de oxidación del cianuro.	☐	☐	☐	☐	☒
3	El control del pH (10.2 – 10.6) es clave para una correcta detoxificación del cianuro.	☐	☐	☐	☒	☐
4	El tiempo de residencia de 95 minutos (5 + 30 + 30 + 30) es adecuado para lograr una alta remoción de cianuro.	☐	☐	☐	☒	☐
5	La dosificación adecuada de los reactivos (H ₂ O ₂ , NaOH y CuSO ₄) es fundamental para cumplir el ECA Categoría III.	☐	☐	☐	☐	☒
6	El proceso permite alcanzar una remoción de cianuro superior al 99%.	☐	☐	☐	☐	☒
7	El efluente tratado cumple con los límites máximos permisibles de cianuro según el ECA Categoría III.	☐	☐	☐	☐	☒
8	El monitoreo de CN Libre y CN WAD es importante para evaluar la eficacia del proceso.	☐	☐	☐	☒	☐
9	La implementación de este proceso contribuye a la protección del medio ambiente.	☐	☐	☐	☐	☒
10	El procedimiento de detoxificación es seguro y viable para su aplicación en la planta ADR.	☐	☐	☐	☒	☐

LEYENDA DE PUNTUACIÓN:

1 = Totalmente en desacuerdo

2 = En desacuerdo

3 = Neutral

4 = De acuerdo

5 = Totalmente de acuerdo

Nota: Los resultados obtenidos permitirán evaluar el nivel de aceptación y eficacia del proceso de detoxificación en la planta ADR.

Matriz de consistencia

Detoxificación de efluentes cianurados para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Se podrá realizar la detoxificación de efluentes cianurados para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023?	Realizar proceso de detoxificación de efluentes cianurados para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.	Mediante el tratamiento de detoxificación de efluentes cianurados se podrá cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.	VARIABLE INDEPENDIENTE	
			Detoxificación de Soluciones cianuradas	Enfoque investigación cuantitativa.
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA	INDICADORES	Tipo de investigación aplicada - tecnológica.
			Dosificación de Reactivos Tiempo de Residencia	
¿Cuál es el efecto de la dosificación de los reactivos proceso de detoxificación de efluentes cianurados para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023?	Determinar el efecto de la dosificación de los reactivos proceso de detoxificación de efluentes cianurados para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que los reactivos influyen significativamente en la detoxificación de efluentes cianurados para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.	VARIABLE DEPENDIENTE	Nivel explicativo.
¿Cuál es el efecto del tiempo de residencia proceso de detoxificación de efluentes cianurados para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023?	Determinar el efecto del tiempo de residencia proceso de detoxificación de efluentes cianurados para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el tiempo de residencia influye significativamente en la detoxificación de efluentes cianurados para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.	INDICADORES	Población: Solución Cianurada de la Poza de efluentes PE-01
			Categoría III de Acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA)	
¿Cuál es el efecto del tiempo de residencia proceso de detoxificación de efluentes cianurados para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023?	Determinar el efecto del tiempo de residencia proceso de detoxificación de efluentes cianurados para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el tiempo de residencia influye significativamente en la detoxificación de efluentes cianurados para cumplir la categoría III de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA) en una planta ADR, Ancash 2023.	INDICADORES	Muestra 1 m ³ del sub grupo de la población proporcionada por la Planta Las Lomas de Casma.
			% Remoción de CN	

Fuente: Autoría Propia

INFORME DE ENSAYO

LLC-INFORME-23 - 0712

REG-LLC-LAB-8.5-29	Versión 01
	Revisión 01
	Página 1 de 1

LABORATORIO LAS LOMAS CASMA - Carretera Panamericana Norte Km. 428 - Casma - Ancash

Teléfono: 924 797 949 - Email: laboratorio@laslomascasma.com

El uso indebido de este informe de Ensayo constituye delito sancionado conforme a la ley. Este documento no podrá ser reproducido sin autorización de Laboratorio Las Lomas Casma.

Ag (t)	Ag (d)	Al (t)	Al (d)	As (t)	As (d)	Ba (t)	Ba (d)	Be (t)	Be (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,134	0,102	0,03	0,03	2,895	2,723	0,024	0,013	<0,0003	<0,0003
Bi (t)	Bi (d)	B (t)	B (d)	Ca (t)	Ca (d)	Cd (t)	Cd (d)	Ce (t)	Ce (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
<0,02	<0,02	0,015	0,012	138,4	134,37	0,013	0,011	<0,02	<0,02
Co (t)	Co (d)	Cr (t)	Cr (d)	Cu (t)	Cu (d)	Fe (t)	Fe (d)	K (t)	K (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,189	0,162	<0,004	<0,004	6,206	4,842	0,42	0,34	21,87	17,24
Li (t)	Li (d)	Mg (t)	Mg (d)	Mn (t)	Mn (d)	Mo (t)	Mo (d)	Na (t)	Na (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
<0,004	<0,004	0,12	0,1	0,004	0,003	0,01	0,008	851	827,79
Ni (t)	Ni (d)	P (t)	P (d)	Pb (t)	Pb (d)	Sb (t)	Sb (d)	Se (t)	Se (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,063	0,051	0,07	<0,06	<0,01	<0,01	0,066	0,057	<0,02	<0,02
SiO2 (t)	SiO2 (d)	Sn (t)	Sn (d)	Sr (t)	Sr (d)	Ti (t)	Ti (d)	TI (t)	TI (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
88,94	81,14	<0,007	<0,007	0,2723	0,2179	<0,01	<0,01	0,1	0,08
V (t)	V (d)	Zn (t)	Zn (d)						
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L						
0,004	0,004	1,018	0,801						

Los resultados mencionados en este documento proceden de muestras proporcionadas por el cliente o por un tercero a nombre del cliente. Laboratorio Las Lomas Casma no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas. El informe de ensayo solo es válido para la muestra del lote sometida a análisis, no pudiendo extenderse los resultados del informe a ningún otro lote que no haya sido analizado.

Pasado el plazo de almacenamiento de 90 días para remanentes o pulpas y 15 días para Rechazos o gruesas, se procederá a descartar. Favor no considerar esta información si se presentan instrucciones al inicio del servicio.

Unidades
mg/L Miligramos por litro

Parámetros				
(t) Total				
(d) Disuelto				
Ag Plata	Fe Hierro	SiO2 Silice (Dióxido de Silicio)		
Al Aluminio	K Potasio	Na Sodio		
As Arsénico	Li Litio	Mg Magnesio		
Ba Bario	Mn Manganeseo	Zn Zinc		
Ca Calcio	Cu Cobre			
Cd Cadmio	Ni Niquel			
Co Cobalto	Pb Plomo			
Cr Cromo	Sr Estroncio			

A solicitud de	: EDNILSON FRAY CRISTOBAL VILLENA	Cantidad de Muestras	: 1
Por cuenta de	: EDNILSON FRAY CRISTOBAL VILLENA	Fecha de Recepción	: 12/07/2023
Tipo de muestra	: Muestra de efluente (Solución)	Fecha de Ensayo	: Del 12/07/2023
Detalles de Muestra	: Frasco de polietileno con precinto		: Al 12/07/2023
Tipo de Análisis	: Agua Residual Industrial	Referencia	: Nota de Servicio N° 15678

Ing. Quím. Jorge Luis Salazar Rojas
Jefe de Laboratorio
CIP N° 152345

Casma, 12 de Julio del 2023



Fuente: Laboratorio Las Lomas Casma



INFORME DE ENSAYO

LC-INFORME-26 - 1733

REG-LC-LAB-8.5-29

Versión 01

Revisión 01

Página 1 de 1

PLANTA LAS LOMAS DE CASMA - Carretera Panamericana Norte Km. 374 - Casma, Ancash - Perú

Teléfono: (043) 123-456 - www.lomascasma.com.pe

El uso indebido de este informe de Ensayo constituye delito sancionado conforme a la ley. Este documento No podrá ser reproducido sin autorización de Planta Las Lomas de Casma.

A solicitud de : Planta Las Lomas de Casma
Por cuenta de : Planta Las Lomas de Casma
Tipo de muestra : Muestra de Solución
Detalles de Muestra : Solución - Efluente
Tipo de Análisis : Elementos por ICP-OES
Cantidad de Muestras : 1
Fecha de Recepción : 21/08/2023
Fecha de Ensayo : Del 21/08/2023 al 21/08/2023
Referencia : Orden de Servicio N° 21939
Método : ICP-OES (Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente)

Unidades

mg/L: miligramos por litro

Parámetros

(t): Total

(d): Disuelto

Ag (t)	Ag (d)	Al (t)	Al (d)	As (t)	As (d)	Ba (t)	Ba (d)	Be (t)	Be (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,134	0,102	0,03	0,03	2,895	2,723	0,024	0,013	<0,0003	<0,0003
Bi (t)	Bi (d)	B (t)	B (d)	Ca (t)	Ca (d)	Cd (t)	Cd (d)	Ce (t)	Ce (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
<0,02	<0,02	0,015	0,012	138,4	134,37	0,013	0,011	<0,02	<0,02
Co (t)	Co (d)	Cr (t)	Cr (d)	Cu (t)	Cu (d)	Fe (t)	Fe (d)	K (t)	K (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,189	0,162	<0,004	<0,004	6,206	4,842	0,42	0,34	21,87	17,24
Li (t)	Li (d)	Mg (t)	Mg (d)	Mn (t)	Mn (d)	Mo (t)	Mo (d)	Na (t)	Na (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
<0,004	<0,004	0,12	0,1	0,004	0,003	0,01	0,008	851	827,79
Ni (t)	Ni (d)	P (t)	P (d)	Pb (t)	Pb (d)	Sb (t)	Sb (d)	Se (t)	Se (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
0,063	0,051	0,07	<0,06	<0,01	<0,01	0,066	0,057	<0,02	<0,02
SiO ₂ (t)	SiO ₂ (d)	Sn (t)	Sn (d)	Sr (t)	Sr (d)	Ti (t)	Ti (d)	Tl (t)	Tl (d)
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
88,94	81,14	<0,007	<0,007	0,2723	0,2179	<0,01	<0,01	0,1	0,08
V (t)	V (d)	Zn (t)	Zn (d)	Observaciones: - Los resultados reportados corresponden únicamente a la muestra ensayada. - Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin autorización escrita. (t): Total (d): Disuelto					
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L						
0,004	0,004	1,018	0,801						

Analizado por:

Ing. Quím. J. Paredes R.
Jefe de Laboratorio



Revisado y Aprobado por:

Ing. M. Andrade Vásquez
Gerente de Planta



INFORME DE ENSAYO

LC-INFORME-26 - 1733

REG-LC-LAB-8.5-29

Versión 01

Revisión 01

Página 1 de 1

PLANTA LAS LOMAS DE CASMA - Carretera Panamericana Norte Km. 374 - Casma, Ancash - Perú
Teléfono: (924) 797 949 - www.lomascasma.com.pe

El uso indebido de este informe de Ensayo constituye delito sancionado conforme a la ley.
Este documento no podrá ser reproducido sin autorización de Planta Las Lomas de Casma.

A solicitud de : EDNILSON FRAY CRISTOBAL VILLENA
Por cuenta de : EDNILSON FRAY CRISTOBAL VILLENA
Tipo de muestra : Solución Barren
Detalles de Muestra : Solución - Efluente
Tipo de Análisis : Físicoquímico
Cantidad de Muestras : 1
Fecha de Recepción : 21/08/2023
Fecha de Ensayo : Del 21/08/2023 al 21/08/2023
Referencia : Orden de Servicio N° 17845
Método : Métodos Estándar APHA, AWWA, WEF 23ª Ed. 2017

Unidades
mg/L: miligramos por litro

Parámetros
(t): Total

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS - SOLUCIÓN BARREN

pH	Conduct	Alc. Total	Alc. CO_3^{-2}	Alc. HCO_3^{-}	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	N-NH_3
Unid.	umho/cm	mg $\text{CaCO}_3\text{/L}$	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
11.9	4668	928	309	619	41	6	72,7

NH_3	Fluoruro	Cloruros	Aceites y grasas	Dureza total	Fe^{+2}	Fe^{+3}	SCN-
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg $\text{CaCO}_3\text{/L}$	mg/L	mg/L	mg/L
88,4	0,8	93,3	0,52	352	<0.010	<0.010	8,6

TSS	TSD	Fosfatos	Sulfatos	Hg (t)	CN total	CNWad	CN libre
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
55	3101	0,07	494	0,2519	198,333	181,667	179,11

Observaciones:

- Los resultados reportados corresponden únicamente a la muestra ensayada.
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin autorización escrita.
- (t): Total

Analizado por:

Ing. Quím. J. Paredes R.
Jefe de Laboratorio



Revisado y Aprobado por:

Ing. M. Andrade Vásquez
Gerente de Planta

Casma, 21 de Agosto del 2023

1. OBJETIVO

Evaluar la influencia de los factores TIEMPO y $H_2O_2/CNwad$ sobre la variable de respuesta del proceso experimental utilizando un diseño factorial 2^2 con 2 réplicas, mediante el análisis de varianza (ANOVA) en Minitab.

2. INFORMACIÓN DEL DISEÑO

Factores: 2 Replicas: 2
Corridas: 8 Total, de corridas: 16
Bloques: 1 Puntos centrales (total): 0
Nro. de niveles: 2; 4

FACTORES

A: TIEMPO (1 = Bajo, 2 = Alto)
B: $H_2O_2/CNwad$ (1 = Bajo, 2 = Alto)

RÉPLICAS: 2

CORRIDAS TOTALES: 16

3. CREACIÓN DEL DISEÑO EN MINITAB

Stat > DOE > Factorial > Create Factorial Design > 2-Level Factorial

Create Factorial Design - 2-Level Factorial

C1 TIEMPO
C2 $H_2O_2/CNwad$

Number of factors: 2
Replicates: 2
Blocks: 1

Factors...
Display Available Designs...

Help OK Cancel

Factors:

Factor	Name	Type	Low	High
A	TIEMPO	2-Level	1	2
B	$H_2O_2/CNwad$	2-Level	1	2

4. HOJA DE TRABAJO – DISEÑO FACTORIAL 2^2 CON 2 RÉPLICAS

StdOrder	RunOrder	Block	TIEMPO (A)	$H_2O_2/CNwad$ (B)	Respuesta
1	1	1	1	1	y11
2	2	1	2	1	y12
3	3	1	1	2	y13
4	4	1	2	2	y14
5	5	1	1	1	y21
6	6	1	2	1	y22
7	7	1	1	2	y23
8	8	1	2	2	y24
9	9	1	1	1	y31
10	10	1	2	1	y32
11	11	1	1	2	y33
12	12	1	2	2	y34
13	13	1	1	1	y41
14	14	1	2	1	y42
15	15	1	1	2	y43
16	16	1	2	2	y44

(yij = valor de la respuesta en la i-ésima corrida, j-ésima réplica)

5. ANÁLISIS EN MINITAB

Stat > DOE > Factorial > Analyze Factorial Design

Analyze Factorial Design

C1 TIEMPO
C2 $H_2O_2/CNwad$
C3 Respuesta

Response: Respuesta

Model:
Main effects
TIEMPO
 $H_2O_2/CNwad$
TIEMPO* $H_2O_2/CNwad$

Select...

Help OK Cancel

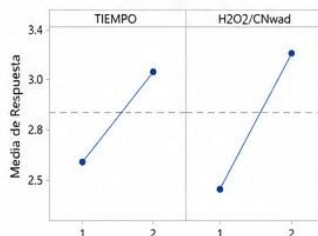
6. RESULTADOS – ANALISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Analysis of Variance

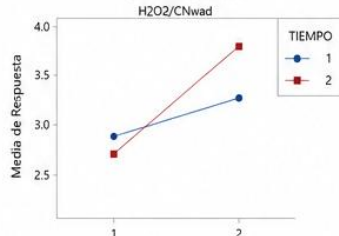
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	0.23434	0.033477	1.78	0.217
Lineal	4	0.21964	0.05491	2.93	0.092
TIEMPO	1	0.04516	0.045156	2.41	0.159
$H_2O_2/CNwad$	3	0.17448	0.058161	3.10	0.089
Interacciones de 2 términos	3	0.01470	0.004899	0.26	0.852
TIEMPO* $H_2O_2/CNwad$	3	0.01470	0.004899	0.26	0.852
Error	8	0.15014	0.018767		
Total	15	0.38448			

7. GRÁFICOS PRINCIPALES

Gráfica de efectos principales para Respuesta



Gráfica de interacción para Respuesta



8. CONCLUSIONES

- Ningún factor es estadísticamente significativo al nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$), ya que todos los valores p son mayores a 0.05.
- El factor $H_2O_2/CNwad$ ($p = 0.089$) es el que más influye en la respuesta, seguido del factor TIEMPO ($p = 0.159$).
- La interacción entre TIEMPO y $H_2O_2/CNwad$ no es significativa ($p = 0.852$).
- El modelo en general tampoco es significativo ($p = 0.217$).
- No se evaluaron puntos centrales.
- Se recomienda, si es necesario, evaluar nuevos rangos de factores o aumentar réplicas para mayor precisión.

9. RESUMEN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Diseño: Factorial 2^2 Factores: 2 Réplica: 2 Corridas: 16 Bloques: 1 Puntos centrales: 0 Análisis: ANOVA en Minitab

Análisis final de la solución



INFORME DE ENSAYO

LC-INFORME-26 - 1734

REG-LC-LAB-8.5-29

Versión 01

Revisión 01

Página 1 de 1

PLANTA LAS LOMAS DE CASMA - Carretera Panamericana Norte Km. 374 - Casma, Ancash - Perú

Teléfono: (924) 797 949 - www.lomascasma.com.pe

El uso indebido de este informe de Ensayo constituye delito sancionado conforme a la ley.

Este documento no podrá ser reproducido sin autorización de Planta Las Lomas de Casma.

A solicitud de : EDNILSON FRAY CRISTOBAL VILLENA
 Por cuenta de : EDNILSON FRAY CRISTOBAL VILLENA
 Tipo de muestra : Solución Barren
 Detalles de Muestra : Solución - Efluente
 Tipo de Análisis : Físicoquímico
 Cantidad de Muestras : 1
 Fecha de Recepción : 21/08/2023
 Fecha de Ensayo : Del 21/08/2023 al 21/08/2023
 Referencia : Orden de Servicio N° 17846
 Método : Métodos Estándar APHA, AWWA, WEF 23ª Ed. 2017

Unidades

mg/L: miligramos por litro

Parámetros

(t): Total

RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS – SOLUCIÓN BARREN

pH	Conduct.	Alc. Total	Alc. CO_3^{2-}	Alc. HCO_3^-	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	N-NH_3
Unid.	umho/cm	mg CaCO_3/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
10.4	4620	915	301	614	38	5	69,5

NH_3	Fluoruro	Cloruros	Aceites y grasas	Dureza total	Fe^{+2}	Fe^{+3}	SCN-
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg CaCO_3/L	mg/L	mg/L	mg/L
85,2	0,7	92,1	0,48	340	<0.010	<0.010	8,2

TSS	TSD	Fosfatos	Sulfatos	Hg (t)	CN total	CNWad	CN libre
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
52	2980	0,06	478	0,2415	99.2%	99.6%	0.17

Observaciones:

- Los resultados reportados corresponden únicamente a la muestra ensayada.
- Este informe no debe ser reproducido parcialmente sin autorización escrita.

La dosificación de nuestro reactivo para la remoción de cianuro fue el peróxido, para lo cual como se mencionó anteriormente, se adicionó una ratio $\text{H}_2\text{O}_2/\text{CNWad}$: 7, en adiciones fraccionadas (Détox 1: ratio 4 y Détox 2: ratio 3), pH solución: 10.2 - 10.6 y 60 minutos de agitación, permite lograr remociones de CNtotal: 99.2%.

REACTIVOS UTILIZADOS Y DOSIFICADOS

Reactivo	Dosificación	Tiempo de contacto
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	393 ppm	5 minutos
Détox 1 (H_2O_2)	Ratio 4	30 minutos
Détox 2 (H_2O_2)	Ratio 3	30 minutos
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	350 ppm	30 minutos
NaSH	50 ppm	30 minutos
Floculante MT-6506	1 - 2 ppm	-

Analizado por:

Ing. Quím. J. Paredes R.
Jefe de Laboratorio

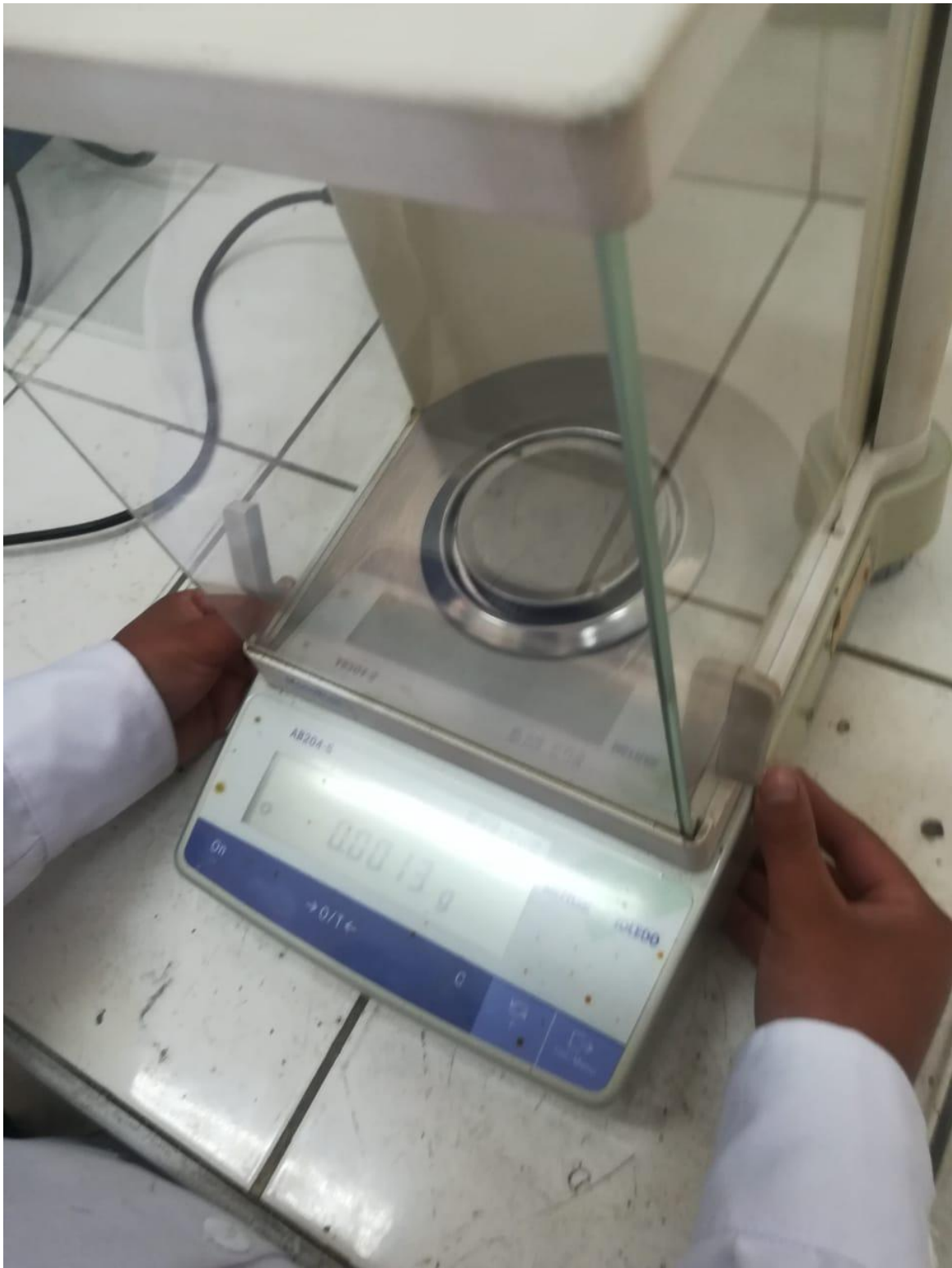


Revisado y Aprobado por:

Ing. M. Andrade Vásquez
Gerente de Planta

Casma, 21 de Agosto del 2023









ALDRICH
Chemistry

DANDI HA

pH-Indikator (200 S) pH-Bereich 0-14

